Einfluß des Stickstoff-Faktors auf den Mykorrhizabesatz von Fichtensämlingen im Humus einer Waldschadensfläche

Von F. H. Meyer, Institut für Landschaftspflege und Naturschutz der Universität Hannover *)

Mykorrhizabesatz und Wurzelverzweigung werden gesteuert durch den Wuchsstoffhaushalt der symbiotischen Pilze, der Rhizosphärenorganismen und der Pflanze. Für die Regulierung des Wuchsstoffhaushaltes sind zahlreiche Umweltfaktoren im Bereich der Baumkrone und des Wurzelsystems maßgebend. Die Auswirkung einer ganzen Reihe dieser Umweltfaktoren läßt sich zusammenfassen in dem Schädigungsquotienten (mineralischer Stickstoff zu organischem Stickstoffakzeptor). Innerhalb ziemlich weiter Grenzen werden durch eine Zunahme dieses Quotienten die Bedingungen für Mykorrhizabildung und Wurzelverzweigung schlechter und durch eine Abnahme des Quotienten besser. Im Bodenbereich wirken sich gesteigerter Gehalt an mineralischem Stickstoff sowie Rückgang der organischen Substanz bei gleichzeitig nachlassender mikrobieller Aktivität negativ aus (Zunahme des Quotienten), im Kronenbereich verschlechterte Assimilationsleistung infolge Lichtmangel, Dürre, Einfluß von Luftverunreinigungen u. a. Der aus einer Zunahme des Schädigungsquotienten resultierende Rückgang von Mykorrhizabesatz, Wurzelverzweigung und Wurzelmasse leitet einen Aufschaukelungsprozeß ein, der die Bäume noch empfindlicher gegenüber belastenden Umweltfaktoren wie Dürre und Frost macht und ihre Disposition gegenüber Krankheiten erhöht oder der gar direkt zum Tode führt.

Feinwurzelverlust in geschädigten Wäldern

Ein starker Rückgang des Anteils von Feinwurzeln ist charakteristisch für Waldbestände, die durch Immissionen beeinträchtigt worden sind. Über die Kausalketten dieser im Zusammenhang mit den Immissionen stehenden Wurzelschäden herrschen unterschiedliche Auffassungen vor. Als mögliche Ursachen werden am häufigsten genannt:

1. Das Absterben von Feinwurzeln ist auf die Freisetzung schädlicher Al-Ionen bzw. auf ein ungünstiges Ca/Al-Verhältnis zurückzuführen (57).

2. Es liegt eine Schädigung des Assimilations- bzw. Transportsystems vor, so daß eine Unterversorgung des Wurzelsystems mit Assimilaten gegeben ist. Hieraus resultiert eine mangelnde Regenerationsfähigkeit des Wurzelsystems (48).

3. Die Aktivität der Mykorrhizapilze wird durch Schadstoffeintrag in den Boden (besonders durch Stickstoff) behindert.

Von diesen Ursachen ist wahrscheinlich nicht nur jeweils eine allein für die Wurzelschäden maßgebend, sondern es wirken mehrere Auslöser gleichzeitig (z. B. Ursachen 2 und 3). Auch eine Verknüpfung von Mykorrhizaschäden und Al-Toxizität könnte gegeben sein (Ursachen 3 und 1). Eine Reihe von Pilzen besitzt Toleranzmechanismen gegenüber der Einwirkung schädlicher Metallionen (3) und die Fähigkeit, diese im Mycel einzulagern. Dadurch kann eine Mykorrhiza zusätzlich zu den Resistenzmechanismen der Wirtspflanze die Schadstoffkonzentration für den Baum unter der Schadensschwelle halten.

So können Kiefern-Sämlinge auf sehr sauren Abraumhalden des Kohlebergbaus, wo eine hohe Verfügbarkeit von Aluminium, Eisen, Kupfer und Mangan vorliegt, mit einer *Pisolithus tinctorius*-Mykorrhiza überleben (29). Auch Birken können auf sehr sauren Abraumhalden des Ruhrgebietes noch bei pH 2,7 (H_2O) gedeihen, sofern ihre Wurzeln mit Mykorrhizen besetzt sind (37). Pappeln und Weiden vermögen auf Erzabfällen von Eisenminen nur bei Gegenwart einer Ektomykorrhiza zu existieren (15).

Solange funktionstüchtige Ektomykorrhizen vorliegen, dürfte die Wirtspflanze demnach gegenüber einer Al-Toxizität abgepuffert sein.

Untersuchungen von James (19) zeigten, daß ein geringer Al-Gehalt in den Nadeln der Sitka-Fichte korreliert war mit einem guten Mykorrhizabesatz. Lagen dagegen perlschnurartige Wurzeln vor, die zu den Pseudomykorrhizen gehören (periodische Wachstumsunterbrechung mit anschließender Metakutinisierung führt zu perlschnurartigem Aussehen), so war der Al-Gehalt der Nadeln höher und die Wuchsleistung der Fichten geringer.

Für die zweite der oben aufgelisteten Ursachen des Feinwurzelverfalls spricht, daß Belastung der Assimilationsorgane mit SO_2 bzw. SO_2 und NO_x einen Rückgang des Anteils der Wurzeln am Gesamtgewicht der Versuchspflanzen zur Folge hat (20, 21, vgl. Tab. 1).

Demgegenüber wurde bei mit SO_2 und Ozon begasten Sämlingen von *Pinus taeda* eine Reduktion des Wurzelgewichtes nur dann festgestellt, wenn die Mykorrhizen fehlten, nicht dagegen, wenn die Sämlinge Mykorrhizen trugen (27).

Auch stark unterständige Waldbäume mit relativ geringem Lichtgenuß weisen oft ein nur schwach entwickeltes Wurzelsystem auf. In welchem Ausmaß die Anlage neuer Wurzeln durch verminderte Photosyntheseleistung eingeschränkt wird, geht aus folgendem Versuch hervor.

Im Gewächshaus wurden Fichtensämlinge von Mitte Februar bis Ende Juli bei 60 % des Außenlichtes kultiviert. Dann wurde ein Teil der Versuchspflanzen einer stärkeren Beschattung (nur 8 % des Außenlichtes) ausgesetzt. Der Lichtgenuß der schattierten Fichten betrug 2 000 bis 3 000 Lux, eine Beleuchtungsstärke, die den Lichtkompensationspunkt der Fichte (1 000 bis 2 000 Lux) knapp überschreitet und daher zu einer starken Drosselung des Assimilatüberschusses führen muß.

Bereits nach drei Wochen war der Wurzelneuzuwachs bei den schattierten Sämlingen weitgehend zum Erliegen gekommen, und nach sechs Wochen lagen fast nur noch gealterte, verbraunte Feinwurzeln vor (Abb. 1). Da die Schattierung nach Abschluß des Sproßwachstums erfolgte, bestanden im Aussehen der Sprosse keine Unterschiede zu den nicht schattierten Vergleichsfichten, das Sproß/Wurzel-Verhältnis lag jedoch mit 1,85 deutlich über dem der Vergleichspflanzen (0,92). Der Wurzelneuzuwachs hatte also starke Einbußen erlitten. Mangelnde Assimilationsleistung (aus welchen Gründen auch immer) muß also sehr bald zu einem Rückgang des Feinwurzelanteils führen.

Tab. 1: Auswirkung einer Begasung der Blätter verklonter Birkenstecklinge auf das Wurzelwachstum (%-Anteil des Wurzelgewichtes am Gesamttrockengewicht der Versuchspflanzen) nach FREER-SMITH, 1983 (21).

Kontrolle	33,1 %
0,062 ppm NO_2	29,7 %
0,062 ppm SO_2	27,0 %
je 0,062 ppm NO_2 und SO_2	21,8 %

In Feinwurzeln erkrankter Waldbestände, insbesondere in solchen Wurzeln, die lang auswachsen, wurde nun häufiger reichlich Stärke gefunden (vgl. Abb. 16 in AFZ Nr. 9/10–1984, S. 212–228). Daraus kann geschlossen werden, daß von einem Rückgang der Assimilationsleistung in erster Linie die Anlage neuer Wurzeln betroffen ist, während die bereits gebildeten Langwurzeln noch hinreichend Stärke enthalten. Die Zahl der neuen Wurzeln wird also eingeschränkt, weniger aber die Ausstattung der Langwurzeln mit lebenswichtiger Stärke.

Als dritte Ursache für den Feinwurzelverfall käme eine Schädigung der Mykorrhiza durch Schadstoffeintrag in den Boden in Betracht. Eine Erhöhung des Gehaltes an löslichem Stickstoff im Boden hat nämlich eine Reduktion des Mykorrhizabesatzes zur Folge (39), zumindest in humusarmen und mikrobiell wenig tätigen Böden. Da die Stickstoffdeposition in unsere Waldökosysteme schon über Jahre beträchtliche Werte aufweist, liegt es nahe, hierin einen Grund für den Rückgang der Mykorrhiza zu sehen. Um diese These zu untermauern, wurden Versuche über den Einfluß von Stickstoffzehrern (wie Sägespäne oder zerkleinertes Stroh) auf die Ausbildung von Mykorrhizen im Humus geschädigter Waldflächen angestellt.

Topfversuche im Gewächshaus

Die Versuche wurden im Gewächshaus durchgeführt, weil dort zumindest ein Faktor, der als schädlich für unsere Waldbestände gilt, ausgeschaltet werden kann, nämlich die direkte Einwirkung des Sauren Regens auf die Nadeln. Darüber hinaus ist auch der Boden während der Versuchsdauer den sauren Niederschlägen nicht mehr ausgesetzt, während die gasförmigen Luftverunreinigungen nicht fernzuhalten sind und ihre Einwirkung auf den Assimilationsapparat daher auch während der Gewächshausversuche weiter besteht.

Bei den Gewächshausversuchen sollte der Humus eines geschädigten Waldbestandes mit unterschiedlichen Mengen an Sägespänen versetzt werden. Das weite C/N-Verhältnis der Sägespäne bedingt, daß in den am Abbau beteiligten Mikroorganismen sowie im entstehenden Humus der Stickstoff in organischer Bindung fest-

**) Der Druck der Arbeit wurde gefördert durch die Gesellschaft der Freunde der Fachbereiche Gartenbau und Landespflege der Universität Hannover.*

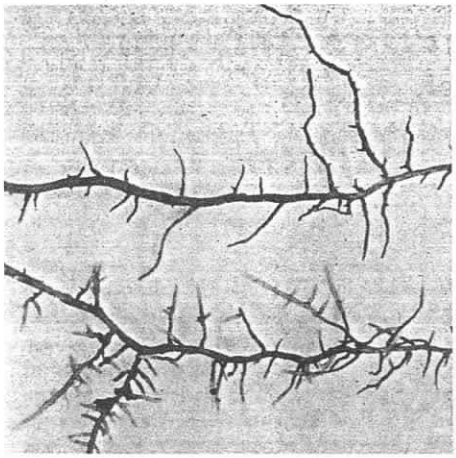


Abb. 1: Wurzelstücke einer stark schattierten Fichte (oben) und einer Fichte, deren Beleuchtungsintensität siebenbis achtmal höher lag (unten). Bei der schattierten Fichte sind die Wurzeln fast ausnahmslos verbraunt (Alterung und Gerbstoffeinlagerung), während das Wurzelstück der nicht schattierten Fichte viele junge hellwachsende Wurzeln enthält. Beide Pflanzen waren mit NH_4NO_3 gedüngt und daher frei von Mykorrhizen.

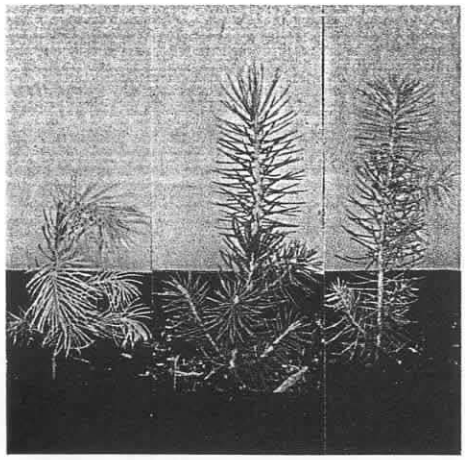


Abb. 2: Habitus der Versuchspflanzen im Humus mit unterschiedlichem Zusatz an Sägespänen. Links: Unbehandelter Humus, das Sproßwachstum ist schlecht und die Nadeln erscheinen graugrün. Mitte: 12 Vol. % Sägespäne, gutes Sproßwachstum und kräftig grüne Nadeln. Rechts: 48 Vol. % Sägespäne, zufriedenstellendes Sproßwachstum, Nadeln gelbgrün (offenbar N-Mangel, vgl. Tab. 2).

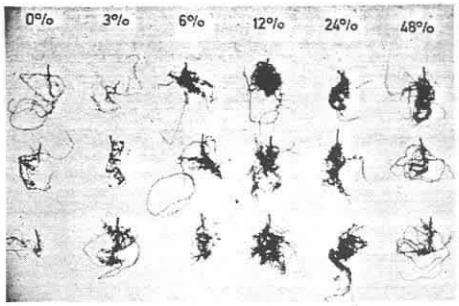


Abb. 3: Habitus der Wurzelsysteme von Fichtensämlingen im Humus mit unterschiedlichem Zusatz an Sägespänen.

gelegt wird, was sich auch auf die Entwicklung von Mykorrhizen auswirken muß.

Die Entnahme des Humus (untere Vermoderungsschicht und oberer AH) erfolgte Anfang Februar in einer Waldschadensfläche im Hils unterhalb des Wilhelm-Raabe-Turmes. Der pH-Wert des Ausgangsmaterials beträgt 3,60 (H_2O) bzw. 2,64 (n KCl), der Gehalt an Kohlenstoff 49,2 % (entsprechend einem Gehalt an organischer Substanz von 84,8 %), der Gehalt an Gesamtstickstoff 1,76 % *. Der Humus wurde mit 0, 3, 6, 12, 24 und 48 Volumen-% Sägespäne (von Fichte und Kiefer) vermischt und anschließend in 9-cm-Kunststofftöpfen mit einjährigen Fichtensämlingen (aufgezogen in einer Forstbaumschule) in fünffacher Wiederholung bepflanzt.

In einer zweiten Versuchsserie sollte der stickstoffzehrenden Wirkung der Sägespäne entgegengewirkt werden durch Düngung mit Ammoniumnitrat. Dazu erhielten sowohl die Kontrollböden als auch die mit abgestuften Mengen an Sägespänen versetzten Substrate je 145 mg N (ausgehend von der Fläche der 9 x 9 cm großen Töpfe ergibt dieses einen Aufwand von 120 kg N/ha). Das Ammoniumnitrat wurde auf zwei Gaben verteilt sechs und zehn Wochen nach dem Auspflanzen den Fichtensämlingen verabreicht.

In einer dritten Versuchsserie sollten den Fichtensämlingen jeweils gleichzeitig zwei verschiedene Wurzelsubstrate dargeboten werden. Dazu wurde zunächst ein genau passendes Blech senkrecht in die Mitte des Topfes gestellt und dann die eine Hälfte des Topfes mit unbehandeltem Humus gefüllt, die andere mit Humus, dem 48 Vol. % Sägespäne zugesetzt worden waren. Mit dem Blech wurde der Humus beiderseits etwas festgerüttelt, so daß nach dem Herausziehen des Bleches ein Schlitz verblieb, in den der Fichtensämling gesteckt und anschließend der Humus von beiden Seiten leicht gegen die Wurzeln gedrückt wurde. Auf diese

* *Das Institut für Bodenkunde der Universität Hannover führte dankenswerterweise die Stickstoffanalysen durch.*

Bücherschau

Zander: Handwörterbuch der Pflanzennamen

Von Dr. h. c. F. Encke, Dr. G. Buchheim und Dr. S. Seybold, 13., erweiterte und neubearbeitete Auflage. 770 Seiten. Ln. DM 68,–. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Der bewährte Aufbau wurde auch diesmal beibehalten: Beginnend mit einer Einführung in die botanische Namenskunde, den Übersichten über das Pflanzenreich und die Familien und Gattungen, geht es über in den Hauptteil, die alphabetisch geordneten Gattungen und Arten. Abschließend folgen die deutschen und fremdländischen Pflanzennamen, die Artenbezeichnungen und Autoren der Pflanzennamen.

Arbeit und psychische Gesundheit

Von Hans Dieter Seibel und Hord Lühring. 204 Seiten, 24 x 16,5 cm, 48,– DM. Verlag für Psychologie, Göttingen.

Die Untersuchung zeigt, daß das Ausmaß an psychischem Streß, dem ein Arbeitnehmer insgesamt ausgesetzt ist, aus den einzelnen Belastungsfaktoren nicht deutlich wird, sich auch nicht allein aus ihrer Summe ergibt, sondern zum Teil erst durch Inkonsistenzen und Widersprüche zwischen den Arbeitsanforderungen selbst entsteht. Die Gesamtbelastung sollte aber bei allen praktischen Maßnahmen zum Belastungsabbau berücksichtigt werden, da sonst durch nicht berücksichtigte Nebenwirkungen einseitiger Veränderungen in der Arbeitsgestaltung neue Formen von psychischem Streß entstehen können. Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen läßt sich eine solche Analyse betriebs-, abteilungs- und arbeitsplatzspezifischer Belastungsfaktoren nicht entnehmen, da sie für eine große Anzahl von Arbeitnehmern mit Hilfe statistischer Verfahren als Durchschnittswerte berechnet wurden.

Eine praxisbezogene Anwendung der Untersuchung kann nicht bedeuten, aus einzelnen Aussagen des Berichtes ein überall anwendbares Rezeptbuch gegen psychischen Arbeitsstreß zusammenzuschneidern. Vielmehr ist es erforderlich, die hier allgemein aufgezeigten Zusammenhänge für die jeweilige betriebliche Situation zu konkretisieren, die im Einzelfall wirksamen Belastungsfaktoren zu ermitteln, im Hinblick auf die Gesamtbelastung zu beurteilen und hieraus realisierbare Gestaltungsmaßnahmen zu entwickeln.

Bildjournalismus

Ein Handbuch für Ausbildung und Praxis. Von Hartmut Beifuß, Jochen Blume, Friedrich Rauch. 232 Seiten, broschiert. DM 34,–, Verlag List, München.

In diesem Handbuch haben Praktiker dargestellt, was ihrer Erfahrung nach der Bildjournalist wissen, können und beachten muß. Das Buch ist in zwei Abschnitte gegliedert: Buchteil 1 handelt von Beruf und Geschäft, Teil 2 vom Bild und seiner Präsentation im Blatt.

Seit 1912

August Lüdemann

FORSTBAUMSCHULEN

Wir liefern termingerecht und bodenfrisch höchste Pflanzenqualität per Lkw bis zur Pflanzstelle. Auf Wunsch steht unser spezieller Frischdienst für empfindliche Nadelgehölze für Sie bereit.

FRANKFURT 6000 Frankfurt 71/ Niederrad
Am Poloplatz 10
Tel. (069) 6 66 20 31

HALSTENBEK 2083 Halstenbek
Postfach 12 16
Tel. (04101) 3 30 28

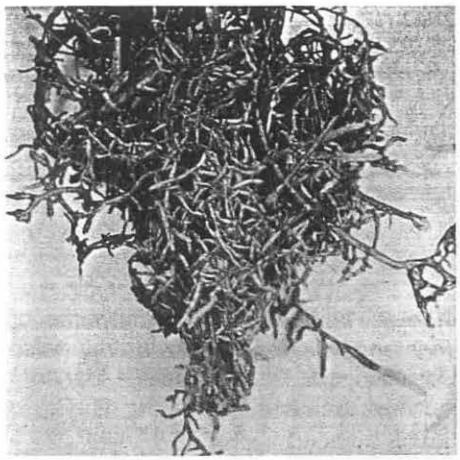
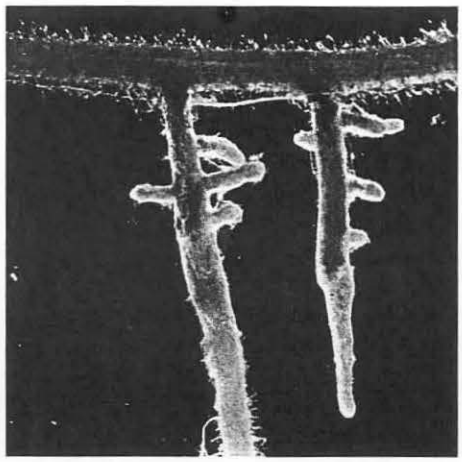


Abb. 4: Bei Zusatz von 12 Vol. % Sägespänen ist das Wurzelwerk intensiv verzweigt und dicht mit Mykorrhizen besetzt, die fast alle gleiches Aussehen besitzen.



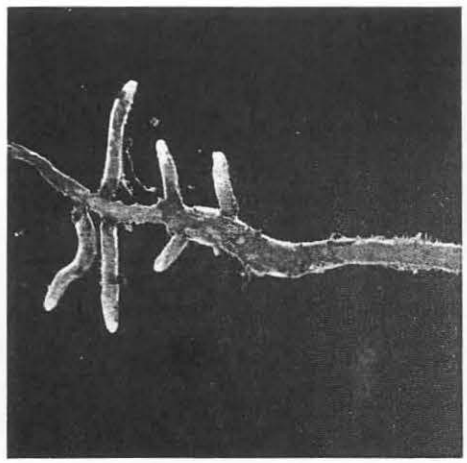


Abb. 7 a: Stickstoffdüngung bringt die symbiotischen Beziehungen zum Erliegen, der Pilzmantel der Mykorrhizen wird von auswachsenden Langwurzeln durchbrochen bzw. kann mit dem Wachstum der Langwurzeln nicht Schritt halten (rechte Wurzel). Die Langwurzeln bleiben pilzfrei und entwickeln sehr bald Haare (mittlere Wurzel).
Abb. 7 b: Eine Langwurzel mit lückigem Pilzmantel und seitlichen Mykorrhizen hat den Pilzmantel durchbrochen. Im Neuzuwachs befinden sich zum Teil Wurzelhaare (Bildmitte).

Weise konnte dieselbe Pflanze mit ihren Wurzeln gleichzeitig in verschiedene Substrate eindringen. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß eventuelle genetische Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchspflanzen und damit ein unterschiedliches Verhalten hinsichtlich der Wurzelausbildung entfallen.

Das Begießen mit destilliertem Wasser sollte nur das durch Evapotranspiration verbrauchte Wasser ersetzen. Eine Perkolation des Humus durch zuviel Gießwasser und damit Auswaschung von Nitraten wurde vermieden. Daher konnte sich im Verlaufe des Versuches zumindest in der Kontrolle ohne Sägespänezusatz der im Zuge der Ammonifikation freiwerdende mineralische Stickstoff anreichern. Zu Beginn des Versuches enthielt der Humus je 100 g Trokkensubstanz 7,6 mg NH_4-N und 1,6 mg NO_3-N. Die Substrate der einzelnen Versuchsglieder enthielten am Ende des Versuchs (Juli 1984) die in Tab. 2 aufgeführten Gehalte an mineralischem Stickstoff.

Tab. 2: Abwandlungen des Gehaltes an mineralischem Stickstoff und des Gewichtes von Fichtensämlingen durch unterschiedlichen Zusatz von Sägespänen zum Substrat.

Sägespäne Vol. %	NH_4-N mg/100 g Tr. Bd.	NO_3-N mg/100 g Tr. Bd.	Frischgewicht von Sproß und Wurzel (in g)	Relation der Sproß-/Wurzelgewichte
0	31,06 ± 2,36	2,00 ± 0,26	1,55 ± 0,53	3,54 ± 1,31
3	16,51 ± 9,99	1,95 ± 0,38	2,89 ± 1,70	2,07 ± 1,04
6	5,91 ± 1,97	1,48 ± 0,21	3,45 ± 1,21	0,93 ± 0,17
12	0,92 ± 0,68	1,19 ± 0,19	3,96 ± 0,52	0,61 ± 0,13
24	0,26 ± 0,25	1,08 ± 0,19	2,79 ± 0,49	0,74 ± 0,12
48	0,19 ± 0,18	0,88 ± 0,13	2,46 ± 0,37	1,54 ± 0,69

Aus Tab. 2 geht hervor, daß die Abwandlungen im Gehalt an mineralischem Stickstoff durch den Sägespänezusatz im wesentlichen den Ammonstickstoff betreffen. Auch in der unbehandelten Kontrolle hat in erster Linie der Ammonstickstoffgehalt zugenommen, ein Zeichen, daß in diesem sauren Substrat die Nitrifikationsintensität nur schwach ist.

Der pH-Wert, der zu Beginn des Versuches bei 3,60 (H_2O) bzw. 2,64 (nKCl) lag, hat sich im Laufe des Versuches in den einzelnen Versuchsgliedern nur unwesentlich verändert. Die Schwankungsbreite der pH-Werte betrug bei Versuchsende maximal 0,3 Einheiten. Die stärkste Ansäuerung erfolgte im Humus mit 12 Vol. % Zusatz an Sägespänen. In diesem Substrat hatten sich die Mykorrhizen besonders reichlich entfaltet, so daß die Ansäuerung vielleicht auf Stoffwechselleistungen der Mykorrhizapilze (u. a. Säureausscheidung) zurückgeht. Dem Säurefaktor dürfte daher für die Interpretation der Ergebnisse eine nur untergeordnete Bedeutung zukommen, eine entscheidende aber dem Stickstoffaktor.

Die Unterschiede im Aussehen der Versuchspflanzen kurz vor der Ernte gibt Abb. 2 wieder. Danach ist der Sämling im Substrat mit 12 Vol. % Sägespäne voll vital, die Sämlinge im unbehandelten Humus und im mit 48 Vol. % Sägespänen vermischten Humus erscheinen dagegen weniger vital. In der 48-%-Stufe hat der starke Zusatz an Sägespänen offenbar zu N-Mangelerscheinungen (grüngelbe Nadeln) geführt.

Abwandlungen des Wurzelsystems durch den Stickstoffaktor

Morphologie des Wurzelsystems

Der unterschiedliche Zusatz von Sägespänen hatte deutliche Veränderungen im Aussehen des Wurzelsystems zur Folge (Abb. 3). Während in der unbehandelten Kontrolle sowohl Wurzelneuzuwachs als

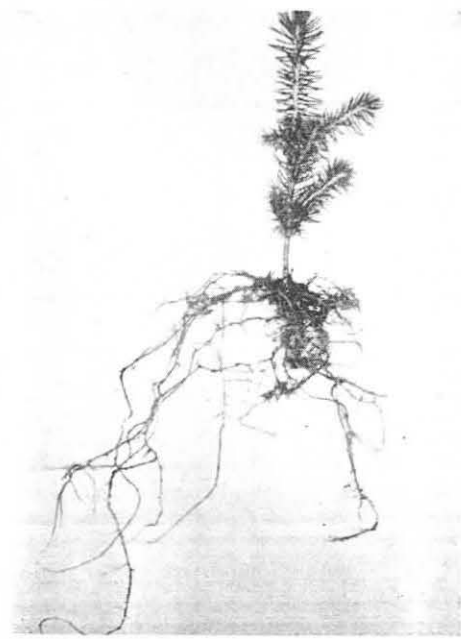


Abb. 13: Wurzeln aus einem etwa 30jährigen geschädigten Fichtenbestand. Charakteristisch sind die mit nur wenigen Seitenwurzeln besetzten, relativ dicken Langwurzeln.

Abb. 12: Fichte, deren Wurzeln gleichzeitig in unbehandeltem Humus (links) und in mit 48 Vol. % Sägespänen versetztem Humus (rechts) wuchsen. Die Ballenhälfte mit Sägespänezusatz enthält intensiv verzweigte Wurzeln mit zahlreichen Mykorrhizen, während auf der linken Seite nur unmittelbar am Wurzelhals einige Mykorrhizen auftreten, die übrigen mykorrhizenfreien Wurzeln aber lang auswachsen und sich wenig verzweigen.

Abb. 9, links: Unbehandelter Humus (0 % Sägespäne) mit dicker, haartragender Langwurzel, rechts: Humus mit Zusatz von 48 Vol. % Sägespänen; einige Mykorrhizen sind deutlich zu erkennen.

Abb. 10: Oberfläche der mit 48 Vol. % Sägespänen versetzten Ballenhälfte. Alle auswachsenden Wurzeln sind zu Mykorrhizen umgewandelt.

Abb. 11: Der Humus dieses Topfes ist von pH 3,6 auf 5,8 aufgekalkt worden. Sproß und Wurzeln wachsen zwar wesentlich besser als in den unbehandelten Kontrollen (Erntegewicht etwa doppelt so hoch), die Wurzeln sind jedoch mit Haaren besetzt und frei von Mykorrhizen. Trotz des durch Kalkung induzierten besseren Wachstums bleibt es fraglich, ob eine mykorrhizafreie Fichte den Existenzkampf unter Waldbedingungen auf Dauer bestehen kann. Die kaum verzweigten pilzfreien Wurzeln sind vergleichbar mit der behaarten Wurzel auf der 0-%-Seite in Abb. 9.

auch Verzweigungsintensität noch schwach sind, nehmen mit steigendem Gehalt an Sägespänen diese beiden Parameter zu, um bei 12 Vol. % ein Optimum zu erreichen (vgl. auch Abb. 4). Bei noch höheren Konzentrationen an Sägespänen ist das Wurzelwerk wieder schwächer ausgebildet.

Parallel zu diesen Abwandlungen in der Wurzelmorphologie verändert sich das Gewichtsverhältnis von Sproß zu Wurzel. Bei 12 Vol. % erreicht das Wurzelsystem sein relativ höchstes Gewicht (vgl. Tab. 1). Oberhalb sowie unterhalb dieses Wertes wird das Wurzelwerk im Vergleich zum Sproßsystem wieder leichter. Da ein gut ausgebildetes Wurzelsystem die Pflanze in vielerlei Hinsicht gegenüber Umweltstreß wie Trockenheit und Kälte sowie Nährstoffmangel widerstandsfähiger macht, kommt diesen Abwandlungen für die Vitalität der Pflanze eine besondere Bedeutung zu.

Mykorrhizafrequenz

Die Mykorrhizafrequenz (d. h. der Prozentsatz der zu Mykorrhizen umgewandelten Wurzelspitzen) ist im Humus ohne Zusatz von Sägespänen verschwindend gering (Abb. 5). Sie erreicht bei 12 Vol. % Sägespäne, wo zwei Drittel aller Wurzelspitzen Mykorrhizen tragen, ein Optimum und fällt dann wieder zur 48-%-Variante ab.

Das unterschiedliche Verhalten der Fichtensämlinge dürfte wohl kaum auf der Adsorption von noch unbekannten Giftstoffen an den Sägespänen beruhen, denn es liegt eine deutliche Optimumkurve vor, die durchaus im Einklang steht mit Beobachtungen in der freien Natur, denn auch dort ist der Mykorrhizabesatz auf Standorten

Abb. 14: Jungfichte aus einem erkrankten Bestand des Hils mit bindfadenähnlichen, wenig verzweigten langen Wurzeln. Im Zentrum des Wurzelsystems befinden sich einige Mykorrhizenkomplexe.

Abb. 15: Fichtensämling mit äußerst langem, kaum verzweigtem Wurzelneuzuwachs. Die dunklen verzweigten Wurzeln in Sproßnähe sind im Vorjahr in der Baumschule entstanden. Das lange Auswachsen zu „Bindfadenwurzeln" ist die „Folge" eines extrem erhöhten Schädigungsquotienten. Der Zähler dieses Quotienten ist besonders groß, denn die Fichte wuchs im Humus aus der Schadfläche des Hils ohne Sägespänezusatz und wurde dreimal mit 145 mg NH_4 NO_3 gedüngt. Darüber hinaus wurde der Sämling sechs Wochen lang stark schattiert (kleiner werdender Nenner). Das Rindengewebe am Wurzelneuzuwachs hat sich über lange Strecken vom Zentralzylinder gelöst.

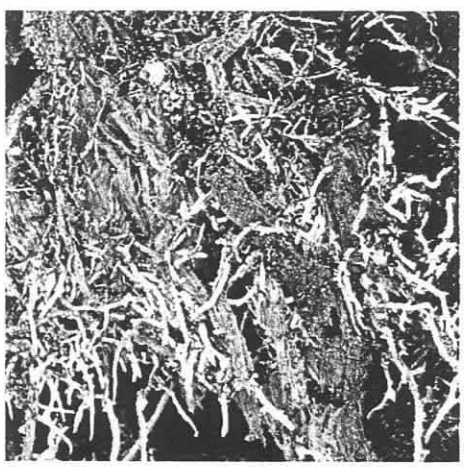


Abb. 16: Zahlreiche gut verzweigte Mykorrhizen in einem vermodernden Holzstück, welches als kräftiger Stickstoffakzeptor fungiert und so den Schädigungsquotienten erniedrigt. Das Bild stammt aus der Schadfläche des Hils, wo in der Nachbarschaft des Holzstückes das Feinwurzelsystem stark geschädigt war.

mit einseitig hohem Stickstoffgehalt sowie in sehr mageren Wäldern (etwa Flechten-Kiefernwäldern) relativ gering (5). In Topfversuchen mit drei verschiedenen N-Düngungsstufen (3 ppm, 62 ppm bzw. 248 ppm) wurde bei 62 ppm ein wesentlich besserer Mykorrhizabesatz als bei 3 oder 248 ppm erzielt (45).

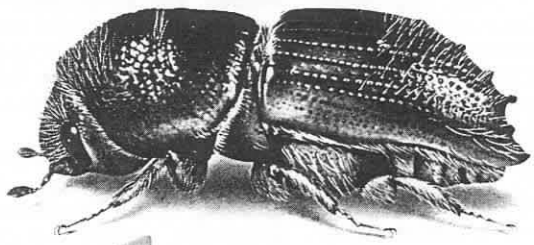
Worauf mag nun die Abwandlung der Mykorrhizafrequenz durch den Sägespänezusatz beruhen? Für das Zustandekommen von Mykorrhizen ist u. a. die Wuchsstoffproduktion der Mykorrhizapilze von Bedeutung (39). Pilze mit hoher Wuchsstoffproduktion können rascher eine Mykorrhiza bilden (11). Reichliches Angebot bestimmter organischer N-Verbindungen (z. B. Glutamin- und Asparaginsäure sowie Harnstoff, 47) und von Ammonsalzen hemmen ihre Wuchsstoffproduktion, die Stoffwechselleistungen verschiedener Rhizosphärenorganismen (z. B. Tryptophanbildung durch Bakterien) können sie offenbar fördern (42). Die Produktion von Indolverbindungen mit Wuchsstoffcharakter durch Mykorrhizapilze steht in Relation zum Gehalt ihres Nährmediums an Ammoniumnitrat (56). Die von den Pilzen synthetisierten Mengen an Indolverbindungen nehmen mit steigendem NH_4NO_3-Gehalt des Nährmediums zunächst zu, erreichen ein Optimum und fallen bei noch höheren Ammoniumnitratkonzentrationen wieder ab. Diese Hinweise zeigen deutlich, daß die für die Mykorrhizabildung wichtige pilzliche Wuchsstoffproduktion abhängig ist sowohl von der chemischen Beschaffenheit ihres Substrates als auch von der Aktivität der Begleitflora.

Allzu reichliche Versorgung der Wirtsbäume mit mineralischem Stickstoff drängt die meisten Mykorrhizatypen zurück (2, 5, 30, 36, 46). Da Stickstoff zugleich als „Motor des Sproßwachstums" gilt, führt eine Stickstoffdüngung oft zu verstärktem Wachstum oberirdischer Pflanzenorgane.

An elfjährigen gedüngten Kiefernpflanzungen konnte gezeigt werden (33), daß der Sproßzuwachs mit dem N-Gehalt der Nadeln gut korreliert, der Mykorrhizabesatz sich aber umgekehrt dazu verhält. In einem Buchenaltbestand (6) war noch neun Jahre nach Volldüngung (NPKCa) die Zahl der Mykorrhizen je m^2 nur halb so groß wie auf der Kontrollfläche. Auch der Ertrag an Fruchtkörpern der Mykorrhizapilze geht nach Stickstoffdüngung oft erheblich zurück (32, 44). Demgegenüber werden die Mykorrhizapilze *Lactarius rufus* – rotbrauner Milchling und *Paxillus*

Schering zum Thema
Forstschutz

Unter der Borke ist der Käfer los.



TOP Borkenkäfermittel SCHERING® bzw. Verindal® Ultra

Unternehmen Sie rechtzeitig etwas gegen Borkenkäfer. Schützen Sie im Wald lagerndes Holz vorbeugend, also vor dem Schwärmflug der Schädlinge, mit Verindal Ultra.

Behandeln Sie sämtliches befallene Holz vor dem Ausflug der Käfer mit TOP Borkenkäfermittel SCHERING. Dieses Produkt ist aufgrund seiner spezifischen Wirkstoffkombination besonders zur Vorausflugspritzung geeignet.

Verindal Ultra kann neben der Borkenkäferbekämpfung auch gegen *Rüsselkäfer, Lärchenblasenfuß* und *Laubholzläuse* sowie als Gießmittel gegen *Bodenschädlinge* im Forst eingesetzt werden.

Als Spritzmittel können beide Produkte in den Wasserschutzzonen II und III eingesetzt werden.

® = registriertes Warenzeichen der Schering Aktiengesellschaft

SCHERING Pflanzenschutz

F 8015

involutus – Krempling durch Stickstoffdüngung nicht beeinträchtigt (44). In durch Luftverunreinigungen geschädigten Waldflächen ist der Krempling bei uns noch häufig anzutreffen. In Baden-Württemberg wurde ein deutlicher Rückgang der Fruchtkörper von Mykorrhizapilzen nachgewiesen (60): „Vielleicht ist der landesweit beklagte Rückgang vieler Mykorrhizapilze, insbesondere auch von Speisepilzen, ein erstes Symptom der Walderkrankung, das noch vor dem Absterben von Laub und Nadeln auftritt." Auf einer Schadfläche im Hils (17) wurden Fruchtkörper von nur zwei Mykorrhizapilzen festgestellt, während ein noch einigermaßen intakter Vergleichsbestand 15 Arten enthielt.

Auch bei den oben beschriebenen Topfversuchen wurde ein ziemlich einheitliches Aussehen der Mykorrhizen festgestellt, während bei 25 Jahre zurückliegenden Topfversuchen stets etliche Mykorrhizatypen in einem Topf vorkamen. Diese sehr einseitige Mykorrhizapilzflora hat die Durchführung der Versuche zwar sehr erleichtert (geringe Variabilität im Pilzbesatz), unter dem Aspekt der Lebenstüchtigkeit der Fichten unter Waldbedingungen ist sie jedoch ein bedenkliches Symptom.

Wurzelverzweigung und Wurzelmasse

Aus Abb. 3, 4 und 5 sowie aus Tab. 2 geht hervor, daß mit steigendem Mykorrhizabesatz ein entsprechender Anstieg der Wurzelmasse verbunden ist. Gerade aus Abb. 3 wird deutlich, daß bei Zusatz von 6, 12 und 24 Vol. % Sägespäne das Wurzelsystem zu einer starken Verzweigung angeregt worden ist. Zwischen hohem Mykorrhizabesatz und der Wurzelmasse bzw. der Verzweigungsintensität bestehen offensichtlich enge Beziehungen. Die Korrelation zwischen der Anzahl der Wurzelspitzen und der Mykorrhizafrequenz ist sehr eng (Abb. 6). Experimente mit Sämlingen der Sitka-Fichte (1) ergaben ebenfalls, daß mit steigendem Mykorrhizabesatz das Sproß/Wurzel-Verhältnis sich zugunsten der Wurzel verändert und daß Wurzelspitzenzahl und Mykorrhizabesatz eng miteinander korreliert sind. Die Abwandlungen des Gewichtsverhältnisses Sproß/Wurzel bei den Sämlingen sind zu einem beträchtlichen Teil durch unterschiedliche pilzliche Biomassen bedingt (1). Eine hohe Zahl wachsender Wurzelspitzen ist für eine Pflanze insofern vorteilhaft, weil die Wurzelspitzen einen Syntheseort für Cytokinine darstellen. Diese Gruppe von Phytohormonen hemmt u. a. vorzeitige Vergilbung und Alterung von Nadeln und Blättern (49).

Als mögliche Gründe für ein verstärktes Austreiben von Knospen an beimpften Sämlingen wurden bessere Nährsalzaufnahme oder hormonelle Beeinflussung der Fichte durch den Mykorrhizapilz (Ausscheidung von Cytokininen) diskutiert (1). Cytokininbildung ist für einige Mykorrhizapilze ermittelt worden (41, 43).

Zu klären bleibt, wie die enge Korrelation zwischen Mykorrhizafrequenz und Zahl der Wurzelspitzen (Abb. 6) zu interpretieren ist. Ist eine hohe Mykorrhizafrequenz Voraussetzung für das Entstehen vieler Wurzelspitzen oder umgekehrt? Beide Richtungen dürften möglich sein, d. h., eine hohe Zahl von Wurzelspitzen kann sowohl Voraussetzung als auch Folge einer hohen Mykorrhizafrequenz sein. Da Mykorrhizen nur an jungen wachsenden Wurzelspitzen entstehen, müssen diese in hinreichender Menge vorhanden sein. Herabsetzung der Assimilationsintensität durch Schadgase in der Luft, durch Dürre oder durch zu starke Beschattung führt zu eingeschränkter Wurzelneubildung (vgl. Abb. 1) und mindert damit eine Voraussetzung für die Anlage neuer Mykorrhizen.

Von größerer Bedeutung scheint aber die stoffwechselphysiologische Beeinflussung des Wurzelsystems der Wirtspflanze durch die Mykorrhizapilze und die daraus resultierende intensivere Verzweigung zu sein. Schon 1948 wurde erkannt (50), daß Kulturfiltrate von Mykorrhizapilzen bei Kiefernwurzeln morphologische Veränderungen induzieren, so daß Ähnlichkeiten im Habitus mit Mykorrhizen entstehen. Später konnte gezeigt werden, daß auch mit Wuchsstoffen entsprechende Abwandlungen erzielt werden können, so daß der Wuchsstoffproduktion der Pilze für diese morphologischen Abwandlungen eine wichtige Rolle zukommt (51). Neben den Wuchsstoffen spielen noch andere Substanzen (Auxinsynergisten, z. B. bestimmte Phenole, Auxinaktivatoren u. a.) eine Rolle (14).

So konnte nachgewiesen werden, daß Auswachsen von Kurzwurzeln bei *Pinus resinosa* bzw. *Pinus pinaster* durch die Anwesenheit von Mykorrhizapilzen stimuliert wird (8, 54). Douglasien-Sämlinge mit Mykorrhizen weisen im Vergleich zu mykorrhizafreien eine wesentlich höhere Wurzelmasse auf (7). Auch bei Schwarzpappelstecklingen trat eine erhebliche Förderung der Bewurzelungsrate durch Mykorrhizapilze ein (59). Ektomykorrhizapilze im Wurzelsubstrat hatten gesteigerte Bewurzelungsraten und Wurzelmassen bei *Arctostaphylos uva-ursi* und *Vaccinium ovatum* zur Folge (24). Auch Pilze der Endomykorrhiza können zu einer Erhöhung der Wurzelmasse bei *Chrysanthemum frutescens* beitragen (4).

Zusätzliche Stickstoffdüngung

Durch die Düngung einer Versuchsserie (sechs und zehn Wochen nach Versuchsbeginn mit 145 mg N als Ammoniumnitrat je Topf) sollte die stickstoffzehrende Wirkung der Sägespäne zum Teil kompensiert werden. Die Ernte dieser Versuchsserie erfolgte sechs Wochen später als die der ersten Versuchsserie. Die Gehalte des Humus an mineralischem Stickstoff und die Mykorrhizafrequenz gehen aus Tab. 3 hervor.

Durch die zusätzliche Stickstoffdüngung wurden die Mykorrhizen deutlich zurückgedrängt oder ihr Entstehen gar völlig unterbunden. Lediglich in der Variante mit 48 Vol. % Sägespäne lag eine Mykorrhizafrequenz von 3 % vor. Ein Vergleich mit den Stickstoffgehalten der ungedüngten Serie zeigt, daß der Zusatz von Sägespänen als solcher weniger für den Mykorrhizabesatz von Bedeutung ist, sondern mehr die davon ausgehende Herabsetzung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff.

Bei den zusätzlich gedüngten Sämlingen war der Mykorrhizabesatz zwar sehr stark gedrosselt, die Wurzelverzweigung aber nicht immer in entsprechendem Maße. Dieses spricht dafür, daß für die Wurzelverzweigung (bzw. Anlage neuer Seitenwurzeln) noch weitere Faktoren maßgebend sind. So wurden bei Düngungsversuchen mit unterschiedlichen Stickstofformen bei NH_4-Gaben wenig verzweigte, bei NO_3-Gaben jedoch stärker verzweigte Wurzeln festgestellt (12). Daraus geht hervor, daß die Wirkung des Gesamtgehaltes an mineralischem Stickstoff modifiziert wird durch die Stickstofform bzw. das NH_4/NO_3-Verhältnis. Darüber hinaus soll sich auch das SO_4-Ion hemmend auf die Wurzelverzweigung auswirken (12).

An den gedüngten Pflanzen konnte nun wiederholt festgestellt werden, daß der

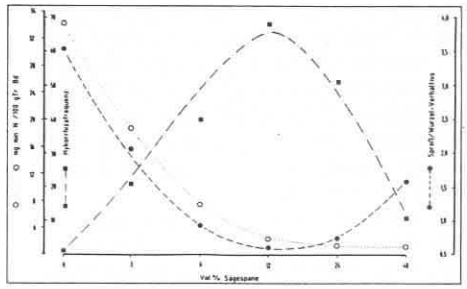


Abb. 5: Mykorrhizafrequenz (die zu Mykorrhizen umgewandelten Wurzelspitzen in Prozent aller Wurzelspitzen) und Sproß/Wurzel-Verhältnis der Fichtensämlinge in Abhängigkeit vom Zusatz an Sägespänen bzw. dem Gehalt des Substrates an mineralischem Stickstoff.

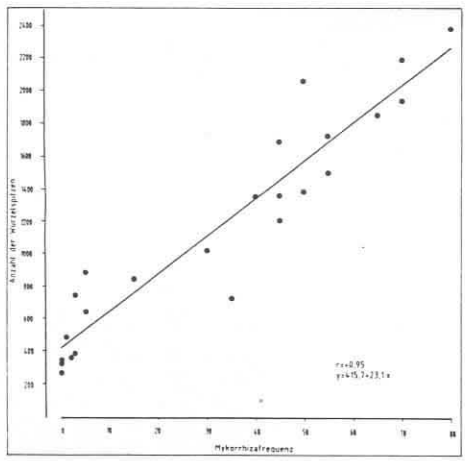


Abb. 6: Beziehung zwischen der Mykorrhizafrequenz und der Anzahl der Wurzelspitzen.

Pilzmantel vom Wurzelneuzuwachs durchbrochen wird und pilzfreie Langwurzeln entstehen (Abb. 7). Diese Langwurzeln können sogar dicht mit Wurzelhaaren besetzt sein. Der Rückgang der Wurzelverpilzung am Wurzelneuzuwachs sowie das Durchbrechen eines Pilzmantels nach Düngung wurde schon früher bei Düngungsversuchen beobachtet (36, 51):

„Die während der zweiten Vegetationsperiode gedüngten Buchen zeigten bei der Untersuchung ihrer Wurzelsysteme, daß der Längenzuwachs in erster Linie an den distalen, nur wenig infizierten Langwurzeln erfolgt war. Blieb den veränderten Verhältnissen entsprechend die Wurzelverpilzung am Neuzuwachs gering, so resultiert ein Wurzelsystem, an dem sich die Mykorrhizen in den zentralen älteren Partien konzentrieren. Darüber hinaus ließ sich des öfteren feststellen, daß eine vorher in ihrem Längenwachstum durch den Pilzmantel gehemmte Mykorrhiza diesen durchbrochen hatte und zu einer Langwurzel ausgewachsen war."

Der Wuchsstoffhaushalt spielt bei dieser Veränderung des physiologischen Zu-

Tab. 3: Abwandlungen des Gehaltes an mineralischem Stickstoff (zusätzliche Düngung mit 145 mg NH_4NO_3 je Topf) und Mykorrhizafrequenz.

Sägespäne Vol. %	NH_4-N mg/100 g Tr. Bd.	NO_3-N mg/100 g Tr. Bd.	Mykorrhizafrequenz
0	142 ± 8,64	51,5 ± 11,8	0
6	80,8 ± 27,9	37,8 ± 15,6	0
12	62,6 ± 3,95	35,6 ± 3,48	1
24	37,2 ± 8,96	34,9 ± 6,05	1
48	6,11 ± 6,61	11,6 ± 10,2	3

Privatforstverwaltung!

Hauptberufliche Stelle als Jagdaufseher/Mitarbeiter im Forst oder auch Ausbildungsstelle als Forstwart gesucht. Lege besonderen Wert auf Dauerstellung. Bin 31 Jahre alt, mittlere Reife, komme aus Försterfam., habe Jagdschein, Führerschein Kl. 3, Jagdaufseherlehrgang absolviert sowie die Meisterprüfung in einem Metallbereich erfolgreich abgelegt.

Zuschriften unter Chiffre Nr. 53512

DJT-Rüde, gew. Mai 1981, schwarzbr., 37 cm Schulterhöhe, kurzes Rauhhaar, Zuchtprfg. 155 P., Gebrauchsprüf. 1. Preis, guter, leichtführender Gebrauchshund, umständehalber nur in Jägerhände, Selbstabholer zu verkaufen.

Nachfragen unter Tel. (08246) 12 14

Suche gebr. Forstschlepper, Rückehänger mit Kran u. Rückefahrzeug mit Kran. Angebote schriftlich (möglichst mit Foto) an **C. Götsch, Jenaer Str. 62, 3180 Wolfsburg 1.**

Dipl.-Forstw., 33 J., mit Staatsex., sucht Anfangsstellung.

Off. u. 53412

Beilagenhinweis

In dieser Ausgabe finden Sie einen Prospekt der Firma KOX GmbH, 7054 Korb. Wir empfehlen Ihnen eine aufmerksame Beachtung.

Eilige Anzeigen

durch Fernschreiber und Telekopierer.

Benützen Sie bitte bei eiligen Anzeigen nach Möglichkeit Fernschreiber oder Telekopierer.

FS-Nummer der „Allgemeinen Forst Zeitschrift" 05215087 blvm d

Telekopier-Durchwahl (089) 1 27 05-354

Telefonische Auftragserteilung über Direktwahl (089) 1 27 05-261

Silvitrac-Forwarder

mit Klemmbank, wegen beruflicher Veränderung zu verkaufen. Preis VB.

Telefon (02372) 25 66

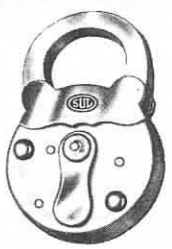
1 St. gebr. Unimog U 84 L, 84 PS, Bauj. 1971, Klappverdeck, KA ew u. dw Frontzapfwelle 19 900,– DM
1 St. gebr. Unimog U 900, 80 PS, Bauj. 1970, Klappverdeck, Hydraulikanlage 18 500,– DM
1 St. gebr. Unimog U 1000 Allrad, 95 PS, Bauj. 1979, Ganzstahlfahrerhaus, Hydraulikanlage 222, Nachschaltgetriebe, Werner Rückegerät 2 x 6 t, mit Bergstütze 56 500,– DM
Preise verstehen sich inkl. 14 % MwSt. ab BayWa Betrieb Obertraubling.

BayWa AG, 8407 Obertraubling, Tel. (09401) 60 22 31 u. 232

Brunnenpflege zur Erhaltung und Regenerierung von Brunnen, **Wessollek, Schwaig, Tel. (0911) 50 84 03**

Schlösser aller Art

Spez.: Niedersachsen-Einheits-Schloß
Fragen Sie Ihren Forstgerätehändler



SUL-Scheibe & Langenbach GmbH
Schloß- u. Metallwarenfabrik
Abt. 362, Postfach 10 06 48
5600 Wuppertal 1
Tel. (0202) 42 26 26/42 74 75
FS 8 591 731

Private Forstverwaltung sucht für die Leitung eines ca. 800 ha großen Revieres (70 % Kiefer) einen

Forstwart

in Dauerstellung.

Bewerbungsunterlagen sind zu richten unter Off. 53212

Bayer. Gebirgsschweißhund, o. P., hervorragend auf Schweiß, im 1. Behang, wird umständehalber nur in Jägerhände, Selbstabholer abgegeben.

Nachfragen unter Tel. (08246) 12 14

Tip der BIO-Gruppe

Teichfolien

Auch scheinbar robuste Teichfolien altern. Gute brauchen Jahrzehnte, schlechte nur wenige Jahre. Sie werden weniger flexibel, im Winter zusätzlich steifer – und dann durch das Eis zerstört. Neuen Folien kann man das nicht ansehen. Schlechte Qualität gibt es reichlich!

Wir bieten Ihnen kostenlos:
● BIO-Teich-Planer ● 66 Teich-Tips
Referenzen: Unser Gartenteich-Handbuch mit unserem Erfahrungsschatz aus vielen Jahren.
Beispielhafte Gartenteiche
160 S., ca. 150 meist farb. Fotos, genaue Anleitungen. **Nur DM 19,80 incl. Porto.**
Teichfolien liefern wir in 3 Stärken schon ab DM 6,95/m² in Super-Qualität! Wir sind Mitglied in der Gütegemeinschaft Gartenteichfolie! Kostenlose Unterlagen: Stichwort für Postkarte: Info T5

Unsere **BIO-Gruppe** hat es schon gegeben, als **‚BIO'** noch ein Fremdwort war. Wir gehören zu den Schrittmachern dieser Idee – oft kopiert doch nie erreicht. Fordern Sie die Unterlagen an, dann wissen Sie mehr über uns und unsere Ideen.

BIO-Gruppe, Postfach 2, 4401 Saerbeck, Tel.: 0 25 74/83 53

An der
Fachhochschule Hildesheim/Holzminden
Fachbereich Forstwirtschaft in Göttingen
sind sofort 3 Stellen für

Professoren (Bes. Gr. C 2)

für die Fächer
1. **Waldarbeit/Forstpolitik**
2. **Botanik, Zoologie inkl. Wildbiologie/Mathematik inkl. Biometrie**
3. **Forstliche Bodenkunde/Klimakunde/Chemie**

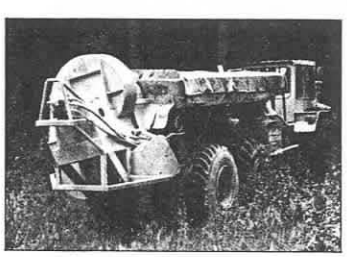
zu besetzen.

Erwartet wird neben fundierten Fachkenntnissen und didaktischen Fähigkeiten die Bereitschaft, aktiv in den Selbstverwaltungsorganen der Fachhochschule mitzuarbeiten.
Die Einstellungsvoraussetzungen ergeben sich aus § 56 des Niedersächsischen Hochschulgesetzes. Einzelheiten sind einem Merkblatt zu entnehmen, das von der Fachhochschule angefordert werden kann.

Für Bewerber, die Lebenszeitbeamte der Landesforstverwaltung Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein sind, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, nach fünf Jahren in die Landesforstverwaltung des Herkunftslandes zurückzukehren.

Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen werden bis spätestens vier Wochen nach Veröffentlichung dieser Anzeige erbeten an die **Fachhochschule Hildesheim/Holzminden, Hohnsen 3, 3200 Hildesheim.**

Waldkalkung: alles aus einer Hand



Nutzlast: 10 t
Blasweite: 50 — 60 m
Verblaseleistung: 1 t/Min

8-Rad-getriebenes Spezialfahrzeug mit wegeabhängiger Dosierung
Nutzlast: 8 t
Verblaseleistung: 1 t/Min

Nutzlast: 6 t
wegeabhängige Dosierung
Massendurchsatz: 3 t/Min möglich.
Sehr gut geeignet für Altholzbestände.

- Lieferung des geforderten Düngemittels
- Transport zum Einsatzort
- Zwischenlagerung vor Ort
- Exakte Verteilung (Blasen) der Düngemittel

Prüfen Sie uns!
Gern erarbeiten wir die Lösung
Ihres Problems und koordinieren alle notwendigen Maßnahmen.

peine
Ihr Partner für Handel+Transport
Paderborner Straße 30
3530 Warburg-Scherfede
Fernruf (05642) 5019
Fernschreiber 991216

stands der Wurzel und der daraus resultierenden Abwandlung ihrer Morphologie sicher eine Rolle. Das Längenwachstum der Wurzel wird u. a. reguliert durch die Wuchsstoffkonzentration. Das Längenwachstum der Wurzel hat sein Optimum bei einer Konzentration der β-Indolylessigsäure von 10^{-10} M, während die Optimalkonzentration für das Sproßwachstum (bei 10^{-5} M liegt. Nachlassende Wuchsstoffkonzentrationen werden innerhalb weiter Grenzen daher beim Sproß zu einer Einschränkung des Wachstums führen, bei der Wurzel jedoch zu einer Aktivierung (siehe Abb. 8).

Die Stickstoffdüngung muß die symbiotischen Wechselbeziehungen also u. a. über den Wuchsstoffhaushalt gestört haben. Dieses kann einerseits geschehen durch Veränderung des endogenen Wuchsstoffhaushaltes der Wurzeln oder andererseits durch eine Hemmung der pilzlichen Wuchsstoffproduktion. Für eine Hemmung der pilzlichen Wuchsstoffproduktion durch Stickstoffgaben wurden bereits Belege gebracht. Zur Aufrechterhaltung der symbiotischen Wechselwirkungen ist offenbar die permanente Wuchsstoffproduktion durch den Pilz erforderlich. Ein einmal erreichtes symbiotisches Gleichgewicht wird daher bei Veränderung des Bodenmilieus destabilisiert.

Wurzeln einer Pflanze gleichzeitig in verschiedenen Substraten

Einige Töpfe wurden je zur Hälfte mit verschiedenen Substraten gefüllt (unbehandelter Humus des erkrankten Fichtenbestandes und Humus mit 48 Vol. % Sägespänezusatz), so daß auf die Wurzeln einer Pflanze unterschiedliche Bodensubstrate einwirkten. Mitte Juni hatten die Wurzeln die Oberfläche des Topfballens erreicht. Auf der Seite mit Zusatz von Sägespänen lagen Mykorrhizen vor, während die Wurzeln der unbehandelten Seite größtenteils frei von Mykorrhizen waren, dafür aber oft Wurzelhaare besaßen (Abb. 9, vgl. dazu auch Abb. 10 und 11). Im Laufe des Sommers wurde dann der gesamte Topfballen durchwurzelt. Mitte September waren die Unterschiede in der Verzweigungsintensität und im Mykorrhizabesatz zwischen den beiden Topfhälften immer noch deutlich wahrnehmbar (Abb. 12). Da diese Abwandlungen jeweils an ein und derselben Pflanze induziert werden konnten, ist damit bewiesen, daß dem Bodenmilieu, insbesondere dem N-Haushalt, eine entscheidende Rolle für Verzweigungsintensität und Mykorrhizabesatz zukommt.

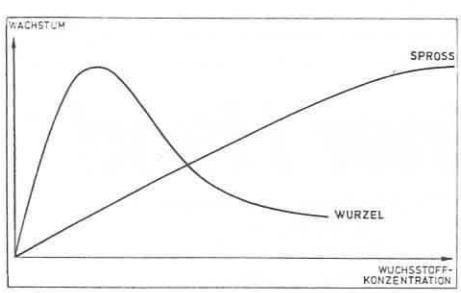


Abb. 8: Schematische Darstellung der Wachstumsgeschwindigkeit von Sproß und Wurzel in Abhängigkeit von der Wuchsstoffkonzentration (nach SÖDING 1952). Die Aktivierung des Wurzelwachstums mit abnehmender Wuchsstoffkonzentration betrifft nur das Längenwachstum, während die Anlage von Seitenwurzeln durch steigende Wuchsstoffkonzentration gefördert wird.

Folgerungen

Die Unterdrückung der Aktivität der Mykorrhizapilze stellt eine bedeutsame Ursache für den Feinwurzel-Rückgang in geschädigten Waldbeständen dar. Zwei besonders deutliche Beispiele für die Unterdrückung von Kurzwurzeln in geschädigten Waldbeständen sind in Abb. 13 und 14 dargestellt.

Abb. 13 zeigt Wurzeln aus einem geschädigten etwa 30jährigen Fichtenbestand aus Dänemark. Es herrschen Langwurzeln vor mit geringem Besatz an Kurzwurzeln. Die geschädigten Bäume stehen am Westrand des Bestandes, wo in der Bodenvegetation folgende Stickstoffzeiger auftreten: *Sambucus nigra, Urtica dioica, Senecio sylvaticus, Galeopsis tetrahit, Galium aparine* und *Solanum dulcamara*. Die Massierung der Stickstoffzeiger am Westrand ist sicherlich nicht nur die Folge einer angeregten Streuzersetzung, sondern sie dürfte auch dafür sprechen, daß durch Regen- und Nebelniederschlag ein erhöhter Stickstoffeintrag stattgefunden hat.

Abb. 14 gibt das Wurzelsystem einer Jungfichte aus einem erkrankten Bestand des Hils wieder. Auch hier fallen die bindfadenähnlichen lang auswachsenden Wurzeln mit geringer Verzweigungsintensität auf. Im Zentrum des Wurzelsystems sind noch einige hellere Mykorrhizakomplexe zu erkennen.

Änderungen im Mengenverhältnis von mineralischem Stickstoff zu organischer Substanz (Stickstoffakzeptor) als Auslöser für Abwandlungen des Wurzelsystems

Veränderungen im Stickstoffhaushalt des Wurzelsubstrates ziehen also Abwandlungen im Mykorrhizabesatz und in der Verzweigungsintensität sowie der Wurzelmasse nach sich. Diese Zusammenhänge sind bei Walddüngungsmaßnahmen bisher zu wenig beachtet worden, da mit Stickstoffgaben das Sproßwachstum ja stark angeregt bzw. mit Stickstoff ein untätiger Humus aktiviert werden kann, was ebenfalls den Ertrag an Stammholz fördert. Im Gegensatz zu vielen anderen Pflanzen stellt aber gerade bei den meisten unserer Waldbäume eine intakte Symbiose die Voraussetzung für ein gut funktionierendes Wurzelsystem dar (40). Die Veränderungen im Stickstoffhaushalt des Wurzelsubstrates können sich nun sowohl auf die Mikroorganismen des Bodens (inklusive der Mykorrhizapilze) auswirken als auch auf den Stoffhaushalt der Pflanzenwurzel bzw. der ganzen Pflanze. Zwischen beiden Einwirkungswegen bestehen enge Wechselbeziehungen.

Abwandlungen des Stickstoffhaushaltes im Boden

Die bei den Versuchen zugesetzten Sägespäne fungieren als Stickstoffakzeptor, die den Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelsubstrat absenken. Daher können die ermittelten Zusammenhänge zwischen Sägespänezusatz und Wurzelausbildung auch folgendermaßen ausgedrückt werden:

Eine Zunahme des Quotienten mineralischer Stickstoff zu Stickstoffakzeptor verschlechtert die Bedingungen für das Entstehen eines leistungsfähigen Wurzelsystems an den Waldbäumen (Mykorrhizafrequenz, Wurzelverzweigung, Wurzelmasse) und mindert auf diese Weise die Widerstandskraft der Waldbäume gegenüber belastenden Umweltfaktoren verschiedenster Prägung. Der Quotient mineralischer Stickstoff zu organischem Stickstoffakzeptor wird im folgenden als Schädigungsquotient bezeichnet.

Der Schädigungsquotient ist aber nicht isoliert zu betrachten, sondern er wird z. T. sehr stark modifiziert durch eine Reihe verschiedener weiterer Bodenfaktoren wie Sauerstoffversorgung und Gehalt an anderen Nährstoffen. Auch die mikrobielle Aktivität ist von erheblicher Bedeutung für die Auswirkung einer Stickstoffdüngung auf den Mykorrhizabesatz (34, 36). In mikrobiell hochaktiven Humusformen (z. B. im Mull) sind die Mykorrhizen gegenüber den Einflüssen einer Stickstoffdüngung wesentlich besser „abgepuffert" als in weniger tätigen Substraten wie Moder oder Rohhumus. Maßgebend für die größere Widerstandskraft der Mykorrhizen im Mull könnte u. a. der üppige Besatz mit Bakterien sein, die Vorstufen für Indolwuchsstoffe (etwa Tryptophan) synthetisieren.

Da der Stickstoffeintrag in die Waldböden gekoppelt ist mit einer Säuredeposition, werden dadurch hinsichtlich der Bodenmikrobiologie zwei gegenläufige Tendenzen ausgelöst. Der Säureeintrag führt innerhalb weiter Grenzen zu einer Herabsetzung der mikrobiellen Aktivität (Bodenatmung und Zelluloseabbau [13], Nitrifikation, aber Erhöhung der Ammonifikation [16, 18]). Gleichzeitig hebt der N-Eintrag den Gehalt an mineralischem Stickstoff auf ein Niveau, das für Böden mit höherer mikrobieller Aktivität typisch ist. Diese in bodenbiologischer Hinsicht gegenläufigen Tendenzen wirken aber beide negativ auf den Mykorrhiza-Besatz, was eine verstärkte Hemmung der Mykorrhizen auslösen kann.

Die genannten Faktoren (Schädigungsquotient, mikrobielle Aktivität) sind neben Sauerstoffversorgung u. a. auch von Bedeutung für die Verteilung von Mykorrhizen und der Intensität der Wurzelverzweigung innerhalb eines Bodenprofils. Bestehen innerhalb eines Profils besonders große Unterschiede in Humusgehalt und mikrobieller Aktivität (wie im Podsol), so konzentrieren sich die Feinwurzeln im Bereich höchster mikrobieller Aktivität und größten Humusgehaltes, nämlich im Auflagehumus. Sind dagegen die Unterschiede in der mikrobiellen Aktivität nicht so ausgeprägt (wie in der eutrophen Braunerde mit aktiver Regenwurmfauna), so verteilen sich Mykorrhizen und Feinwurzeln viel gleichmäßiger im Profil (vgl. Abb. 6 in AFZ Nr. 9/10–1984).

Bei Sämlingen auf Podsol und podsolierten Standorten zeigt sich immer wieder, daß die Intensität der Wurzelverzweigung

sehr auffällig nachläßt, sobald die Wurzeln die Humusauflage verlassen und in den Mineralboden vordringen. Als Auslöser dürften hierbei auch die Abnahme des Stickstoffakzeptors und der mikrobiellen Aktivität mit im Spiele sein. Hier bestehen Anklänge an die in Abb. 12 dargestellten Befunde, nur mit dem Unterschied, daß die reichlich verzweigten mykorrhizatragenden Wurzelpartien und die schwach verzweigten mykorrizafreien sich nicht nebeneinander, sondern untereinander befinden.

Für Gehölze ohne Ektomykorrhiza dürften die dargestellten Tendenzen nur in abgeschwächter Form gelten. Hierin liegt einer der Gründe dafür, daß sich derartige Gehölze (wie *Robinia, Gleditsia)* in Stadtgebieten so gut bewährt haben, während viele Vertreter von Gattungen mit obligater Ektomykorrhiza (wie *Abies, Fagus, Larix, Picea* und *Pinus)* versagt haben (38).

Abwandlungen des Schädigungsquotienten in der Wurzel

Aus Abb. 22 in AFZ Nr. 9/10–1984 geht hervor, daß die Feinwurzeln in der mikrobiell sehr aktiven Vermoderungsschicht bei gleicher Mykorrhizafrequenz mehr lösliche Kohlenhydrate enthalten als in der Humusstoffschicht oder gar dem B-Horizont. Dieser Anstieg des Gehaltes an löslichen Kohlenhydraten wird interpretiert als eine Folge der Einwirkung auf den Stoffwechsel der Wirtspflanzen durch Mykorrhizapilze und Bodenmikroflora. Dabei dürften wie bei den morphologischen Abwandlungen des Wurzelsystems auch die abgeschiedenen Indolwuchsstoffe von Bedeutung sein, darüber hinaus wohl auch weitere Phytohormone. Die Indolylessigsäure trägt zur Regulierung der „sink-Aktivität" bei, indem sie Aktivität bzw. Induktion von Enzymen beeinflußt und wahrscheinlich auch die Phloementladung (28).

Der N-Haushalt des Bodens dürfte in ähnlicher Weise auf den Hormonhaushalt der Wirtspflanze einwirken wie auf die Mykorrhizapilze, und sowohl Mykorrhizapilz als auch Wurzel dürften in dieser Hinsicht gleichgerichtete Reaktionen auf Veränderungen des N-Haushaltes zeigen. Es erhebt sich jetzt die Frage, ob der bei aktiver Bodenmikroflora gegebene erhöhte Gehalt an löslichen Kohlenhydraten nicht auch als „Puffer" gegen ein zu hohes Angebot an mineralischem Stickstoff fungieren kann, so daß nicht nur im Boden, sondern auch in der Pflanze eine Abnahme des Quotienten Angebot an mineralischem Stickstoff zu organischem Stickstoffakzeptor von Bedeutung ist. Unter diesem Aspekt können sich auch alle Faktoren, die den Assimilationshaushalt beeinträchtigen (Luftverunreinigungen, Dürre, starke Beschattung durch Unterständigkeit im Bestand) negativ auf Mykorrhizabesatz und Wurzelverzweigung auswirken. Umgekehrt wurde wiederholt festgestellt, daß höhere N-Gaben bei intensiver Beleuchtung den Mykorrhizabesatz weniger beeinträchtigen als bei verminderter Lichtintensität.

Der mineralische Stickstoff in Ammon- oder Nitratform dient der N-Versorgung der Pflanzen. Der Nitratstickstoff kann im Zellsaft gespeichert werden, wobei die Speicherung bei den Stickstoffzeigern wie Brennessel und Holunder sehr ausgeprägt ist (Dunkelblaufärbung des Zellsaftes mit Diphenylaminschwefelsäure). Zum Einbau in organische Substanz muß das Nitrat zu NH_4 reduziert werden, anschließend erfolgt ebenso wie beim aufgenommenen Ammonstickstoff eine „Entgiftung" durch Einbau in C-Gerüste, die im Zuge der Photosynthese entstanden sind. Die Leistungen der grünen Blätter oder Nadeln sind nicht nur erforderlich zur Bereitstellung der C-Gerüste, sondern letzten Endes auch als Energielieferer für die ablaufenden chemischen Reaktionen.

Ein wichtiges Produkt derartiger Entgiftungsreaktionen ist das Glutamin, von dem der Stickstoff auch an andere Transportaminosäuren wie Glutaminsäure, Asparagin und Asparaginsäure übertragen werden kann.

Im Bereich des Möglichen liegt es nun, daß bei einem hohen Stickstoffangebot im Boden die Mykorrhizapilze auch über die Wurzel beeinträchtigt werden, indem die Wurzelexsudate mehr Asparagin- und Glutaminsäure enthalten, die die Wuchsstoffproduktion von Mykorrhizapilzen hemmen und damit ihre Fähigkeit zur Mykorrhizabildung einschränken. Daß zu den Wurzelexsudaten auch Glutaminsäure und Asparagin zählen, konnte mit markiertem Kohlenstoff bei *Pinus strobus* nachgewiesen werden (52). Kiefernsämlinge weisen bei hohem N-Gehalt im Kulturmedium in ihren Wurzeln einen beträchtlichen Konzentrationsanstieg einiger Aminosäuren (z. B. Glutaminsäure und Glutamin) auf (26).

Die in verunreinigter Luft enthaltenen Stickoxide werden auch über die Blätter aufgenommen und auf diesem Wege in den Stickstoffhaushalt der Pflanzen inkorporiert. Es ist aber fraglich, ob die Aufnahme von Stickstoff über das Blatt das Entstehen von Mykorrhizen in gleicher Weise beeinträchtigt wie die Aufnahme über die Wurzel, denn *Quercus velutina*-Sämlinge enthielten bei N-Düngung über das Blatt signifikant mehr Mykorrhizen als bei entsprechender Düngung über den Boden (9). Für die Praxis der Forstbaumschulen kann hieraus die Empfehlung hergeleitet werden, Stickstoffdüngung bevorzugt über das Blatt (etwa mit Harnstoff) durchzuführen, wenn Mykorrhiza und damit Überlebenstüchtigkeit der Sämlinge nicht gefährdet werden sollen.

Bedeutung des Schädigungsquotienten für den Habitus des Wurzelsystems in erkrankten Beständen

Die Zunahme des Schädigungsquotienten im Boden ist demnach von entscheidender Bedeutung für eine Reduzierung der pilzlichen Wuchsstoffproduktion, entsprechendes dürfte auch für eine Zunahme dieses Quotienten in der Wurzel gelten. Die pilzlichen Wuchsstoffe regen aber einerseits die Wurzelverzweigung an und andererseits hemmen sie das Längenwachstum der Wurzeln (vgl. Abb. 8).

Sind die Eingriffsmöglichkeiten der Mykorrhizapilze in das Wurzelsystem durch Reduzierung ihrer Wuchsstoffproduktion gedrosselt, so wird daraus die Tendenz zu einem Wurzelsystem mit langen, wenig verzweigten Wurzeln resultieren. Gerade derartige Wurzelsysteme sind für unsere geschädigten Waldbestände charakteristisch.

Hat sich die Spitze einer solchen „Pionierwurzel" weit genug von einem Mykorrhizakomplex entfernt, so kann dieser Mykorrhizakomplex hormonell immer weniger auf die Spitzenregion der „Pionierwurzel" Einfluß nehmen und ihr Längenwachstum bremsen, denn die von den Mykorrhizapilzen sezernierten Wuchsstoffe unterliegen auf ihrer Wanderung in Richtung Wurzelspitze sowohl einem Verdünnungseffekt als auch einem Abbau durch Auxinoxidasen (55). Ist die Mykorrhiza erst einmal geschwächt, so kann sich also ein Aufschaukelungsprozeß einstellen, der zu einem immer auffälligeren „Bindfadenwurzelsystem" führt.

Wurzelschäden sind im B-Horizont oft deutlicher ausgeprägt als im A-Horizont (48). Unter Berücksichtigung des Schädigungsquotienten ist dieses verständlich, denn der B-Horizont enthält weniger Stickstoffakzeptoren (Humus, sich vermehrende Biomasse an Mikroorganismen); weiterhin sind die Einwirkungsmöglichkeiten der Mykorrhizapilze auf den „Kohlenstoffsink" Wurzel geringer (schlechtere O_2-Versorgung mit zunehmender Bodentiefe, weniger aktive Rhizosphärenpopulation), und schließlich ist auch unter gesunden Waldbeständen der B-Horizont schlechter mit Mykorrhizen ausgestattet (geringere Mykorrhizafrequenz).

Nach Trockenperioden wurde ein Anstieg der Nitratkonzentration in der Bodenlösung ermittelt (58). Unsere Wälder transpirieren während der Sommermonate oft mehr als an Niederschlägen fällt, so daß der Bodenwassergehalt im September in der Regel ein Minimum erreicht und dementsprechend ein Konzentrationsanstieg bei Nitraten vorliegen kann. Dringt im Laufe des Winterhalbjahres im Zuge der Wiederaufsättigung die Wasserfront in tiefere Bodenschichten vor, so ist denkbar, daß sie auch relativ viel Nitrat mitführt und Störungen des symbiotischen Gleichgewichts hervorruft. Tatsächlich wurden im Sickerwasser unter geschädigten Waldbeständen wiederholt Nitrate festgestellt (58). Die Werte lagen zwar stets unter 10 mg NO_3^-/l, aber in einem intakten Waldökosystem sollte hinsichtlich des Stickstoffes ein geschlossener Kreislauf herrschen. Wenn unter Wald Nitrate ins Grundwasser gelangen, so ist dieses ein Zeichen dafür, daß

- die Stickstoffakzeptoren (Humus, Mikroorganismen) nicht mehr voll funktionsfähig sind und
- das Wurzelsystem nicht mehr intakt ist.

Sollte sich die Tendenz einer Nitratauswaschung unter Waldbeständen steigern, so ist dieses auch bedenklich hinsichtlich der Trinkwasserversorgung aus oberflächennahem Grundwasser. Die zulässigen Grenzwerte für Nitrate im Trinkwasser sind in der Bundesrepublik Deutschland ab Mitte 1985 von 90 auf 50 mg/l gesenkt worden, der EG-Richtwert liegt bei 25 mg/l. Bei anhaltendem Stickstoffeintrag und zunehmender Schwächung unserer Waldbestände dürfte die Tendenz zur Nitratauswaschung zunehmen, so daß sich hieraus lokal eine Gefahr für die Trinkwasserversorgung ergeben kann.

Da auf landwirtschaftlichen Flächen (besonders Wein- und Gemüsebau) die Nitratauswaschung relativ hoch ist, kommt dem Wald als „Filter" und Lieferant reinen Grundwassers eine wichtige Funktion zu, die keineswegs geschwächt werden darf.

Bedeutung des Schädigungsquotienten für die Krankheitsdisposition

Die dargelegten Zusammenhänge, daß eine Zunahme des Schädigungsquotienten (und zwar sowohl im Boden als auch in der

Pflanze) eine negative Entwicklung des Wurzelsystems der Bäume induziert, kann auch zum Verständnis einiger Baumerkrankungen beitragen.

Das nesterhafte Absterben von Bäumen auf einer ehemaligen Ackerfläche im ausgehenden Dickungs- oder beginnenden Stangenholzalter: Der ehemalige Ackerboden enthält im Vergleich zum Waldboden wenig organische Substanz, zudem ist das C/N-Verhältnis der organischen Substanz ein enges, so daß ein schlechter Stickstoffakzeptor vorliegt. Die Mikrobiologie des Ackerbodens entspricht nicht der des Waldbodens, und gut geeignete Mykorrhizapartner müssen sich erst einfinden. Im Dickungsalter behindert Lichtkonkurrenz in den meistens zu dicht gepflanzten Beständen die Assimilationsleistung, so daß der organische Stickstoffakzeptor in der Pflanze damit abnimmt.

- Ausfälle in Waldbeständen durch Rotfäule: Zusammenhänge zwischen der Wurzelentwicklung unter dem Aspekt des Stickstoffaktors und der Disposition der Bäume gegenüber Befall mit *Fomes annosus* (= *Heterobasidion annosum)* sind möglich (35). In den Fichtenwäldern Polens tritt in den von *Fomes annosus* befallenen Beständen die A-Mykorrhiza besonders häufig auf (10). Die A-Mykorrhiza ist gekennzeichnet durch einen dünnen, teilweise netzartig unterbrochenen oder gar fehlenden Pilzmantel. Genau dieser Mykorrhizatyp kommt auch in unseren erkrankten Waldbeständen oft vor. Bei ihm ist die Anschwellung in der Regel weniger ausgeprägt als bei anderen Typen, ein Zeichen, daß die hormonelle Beeinflussung des Wirtsbaumes geringer ist. Diese verminderte Einwirkung auf die Wurzeln des Wirtsbaumes fördert offensichtlich auch das Auswachsen von Langwurzeln (vgl. Abb. 7).

Offensichtlich gehen Schwächung und erhöhte Krankheitsdisposition bei obligat mykotrophen Bäumen einher mit einer Zunahme des Schädigungsquotienten. In Gebieten, wo die gegenüber SO_2 empfindliche Flechte *Hypogymnia physodes* noch vorkommt (sie wurde im Harz, auf der Wingst und in Dänemark beobachtet, [40]), dürfte dem Stickstoffeintrag in die Waldökosysteme eine erhebliche Rolle für die Krankheitsbereitschaft gemäß dem dargelegten Quotienten zufallen. Regionen, die vorwiegend unter SO_2-Eintrag leiden (z. B. Bayerischer Wald, ČSSR), können in diese Überlegungen miteinbezogen werden. In SO_2-belasteten Wäldern der ČSSR ging der Mykorrhizabesatz zurück, und der Pilzmantel der Mykorrhizen war entweder sehr dünn oder fehlte (31), es lagen also entsprechende Symptome wie im Hils vor. Hierfür dürfte neben der Beeinträchtigung der Bodenbiologie eine Minderung der Photosyntheseleistung maßgebend sein, und zwar entweder durch SO_2 alleine oder durch kombinierte Einwirkung von SO_2 und NO_2 (21, 23, 48). Einschränkung der Photosyntheseleistung erhöht ebenfalls den Schädigungsquotienten.

Ferner mag auch eine Reaktion des in die Nadeln oder Blätter eingedrungenen SO_2 von Bedeutung sein für den Wuchsstoffhaushalt, nämlich die Destrukturierung von Indolessigsäure und Tryptophan bei der Oxidation des Sulfits (22). Verminderte Ableitung von Wuchsstoffen in die Wurzel führt zu reduzierter Anlage von Seitenwurzeln und gesteigertem Längenwachstum der vorhandenen Wurzeln (vgl. Abb. 8).

Die am wenig verzweigten Wurzelsystem oft lang auswachsenden Wurzeln bleiben meistens frei von typischer Mykorrhiza, und damit fehlen ihnen die von typischen Mykorrhizen ausgehenden Schutzmechanismen wie ein schwer durchdringbarer Pilzmantel als mechanische Barriere für Bodenpathogene und eine induzierte Resistenz gegenüber Schadpilzen (Produktion von Terpenen und Phenolen). Diese raschwachsenden Langwurzeln sind deshalb besonders gefährdet.

Offene Fragen

Mit den Schädigungsquotienten lassen sich zwar eine ganze Reihe von Erscheinungen, die mit dem Waldsterben im Zusammenhang stehen, verständlich machen, aber eine genauere Aufschlüsselung der Kausalzusammenhänge liefert dieses Konzept noch nicht. Hierzu ist ein vertieftes Studium des Hormonhaushaltes sowohl der Wirtspflanze als auch der Mykorrhizapilze und der Interaktionen unter den Bedingungen des Standortes erforderlich. Hiervon ist die Symbioseforschung noch weit entfernt. Auch die Rolle weiterer Phytohormone wie Gibberelline, Abszisinsäure und Äthylen dürften für die symbiotischen Beziehungen von Bedeutung sein.

Literaturhinweise

1) ALEXANDER, I. J. (1981): The *Picea sitchensis* + *Lactarius rufus* mycorrhizal association and its effects on seedling growth and development. Trans. Br. mycol. Soc. **76**, 417–423.
2) ALEXANDER, I. J., and R. I. FAIRLEY (1983): Effects of N-fertilisation on populations of fine roots and mycorrhizas in spruce humus. Plant and Soil **71**, 49–53.
3) ASHIDA, J. (1965): Adaption of fungi to metal toxicants. Ann. Rev. Phytopathol. **3.** 153–174.
4) BACKHAUS, G. F. (1984): Untersuchungen zur Nutzung der endotrophen (VA) Mykorrhiza in der gärtnerischen Pflanzenproduktion. Diss. Universität Hannover.
5) BJÖRKMAN, E. (1942): Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. Symb. Bot. Upsal. **VI, 2,** 1–190.
6) BLAISE, T., and GARBAYE J. (1983): Effects of mineral fertilization on the mycorrhization of roots in a beech forest. Acta Oecol. Oecol. Plant. **4,** 165–170.
7) BLEDSOE, C. S., and ZASOKI (1983): Effects of ammonium and nitrate on growth and nitrogen uptake by mycorrhizal Douglas-fir seedlings. Plant and Soil **71,** 445–454.
8) DAVID, A., M. FAYE, and RANCILLAC M. (1983): Influence of auxin and mycorrhizal fungi on the in vitro formation and growth of *Pinus pinaster* roots. Plant and Soil **71,** 501–505.
9) DIXON, R. K., GARRETT, H. E., BIXBY, J. A., COX, G. S., and TOMPSON, J. G. (1981): Growth, ectomycorrhizal development and root soluble carbohydrates of black oak *(Quercus velutina)* seedlings fertilized by 2 methods. For. Sci. **27,** 617–624.
10) DOMINIK, T. (1961): Studien über den Mykotrophismus der Fichte – *Picea excelsa* (Lam.) Lk. in Polen. Inst. Badaw. Lesnictwa **209,** 59–102.
11) EK, M., LJUNGQUIST, P. O., and STENSTRÖM, E. (1983): Indole-3-acetic acid production by mycorrhizal fungi determined by gas chromatography – mass spectrometry. New Phytol. **94,** 401–407.
12) EVERS, F. H. (1964): Die Bedeutung der Stickstoff-Form für Wachstum und Ernährung der Pflanzen, insbesondere der Waldbäume. Mitt. Verein Forstl. Standortskd. u. Forstpfl.-Züchtg. **14,** 19–37.
13) HÄRTEL, O., und CERNY, M. (1981): Veränderungen in Fichtenwaldböden durch Langzeiteinwirkung von SO_2. Mitt. Forstl. Bundesvers.-Anst. Wien **137/II,** 233–240.
14) HAISSIG, B. E. (1974): Influence of auxins and auxin synergists on adventitions root primordium inition and development. N. Z. J. For. Sci. **4.** 311–323.
15) HARRIS, M. M., and JURGENSEN M. F. (1977): Development of *Salix* and *Populus* mycorrhizae in metallic mine tailings. Plant and Soil **47,** 509–517.
16) HÜTTERMANN, A. (1983): Auswirkungen „saurer Deposition" auf die Physiologie des Wurzelraumes von Waldökosystemen. Allg. Forstz. **38,** 663–664.
17) HÜTTERMANN, A. (1984): Untersuchungen des biochemischen Bodenzustandes sowie der Wurzel- und Blattphysiologie als Indikatoren für die Belastung von Waldökosystemen. Statusseminar „Ursachenforschung Waldschäden" des BMFT, Göttingen.
18) HÜTTERMANN. A., and ULRICH, B. (1984): Solid phase – solution – root interactions in soils subjected to acid deposition. Phil. Trans. R. Soc. London B **305,** 353–368.
19) JAMES, Helen, COURT, M. N., MACLEOD, D. A., and PARSONS J. W. (1978): Relationships between growth of Sitka spurce (*Picea sitchensis),* soil factors and mycorrhizal activity on basaltic soils in Western Scotland. Forestry (Oxf.) **51,** 105–120.

Hervorragende Anwuchserfolge auch nach Trockenjahren:

QUICKWOOD

HSM 68

Die einzige intermittierend arbeitende Pflanzmaschine. Setzt Pflanzen bis ca. 80 cm auch zwischen Stöcke, Wurzeln und Steine. Vielfach bewährt in Deutschland.

Fragen Sie uns!

HSM

HSM HOHENLOHE-WALDENBURG KG · SPEZIAL-MASCHINENBAU
7112 Waldenburg (Württ.) · Tel. (07942) 520 · Telex 74495

Der Senator für
Stadtentwicklung und Umweltschutz

BERLIN

Bei den zu meinem Geschäftsbereich gehörenden
Berliner Forsten
ist die Planstelle einer/eines

Forstoberinspektor(in)

— Bes.-Gr. A 10 —

zu besetzen (als Leiter einer Revierförsterei im Bereich der Berliner Forsten).

Es kommen Bewerber(innen) in Frage, die die laufbahnrechtlichen Voraussetzungen erfüllen und möglichst Erfahrungen im Forstdienst einer großstädtischen Forstverwaltung besitzen.

Bewerbungen sind mit tabellarischem Lebenslauf innerhalb von **zwei Wochen** nach Veröffentlichung unter Angabe der **Kennziffer 11/85** zu richten an den **Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz — I A 24 —**, Lindenstraße 20–25, 1000 Berlin 61.

Düngerstreuer „Düngerecht" für die dosierte Einzeldüngung

Dosiermenge:

ohne Reduziereinsatz	100 g
mit Reduziereinsatz I	70 g
mit Reduziereinsatz II	40 g
mit Reduziereinsatz III	25 g

Geeignet für alle granulatartigen Düngemittel.

Düngerstreuer	DM 246,–
Preis je Reduziereinsatz	DM 19,20

Preise ab Werk zuzüglich 14 % MwSt.

Kurt Treiber
7546 Enzklösterle/Schwarzw.
Fernruf (07085) 241

Fledermauskästen
nach Dr. Issel,
15 Jahre im wissenschaftlichen Versuch erfolgreich erprobt.
Vogelnistkästen als Bausatz
mit bestem Raubzeugschutz
PURUS – Dr. Reichle, Zoologe
68 Mannheim 71 · Postf. 31 · Tel. 0621-471517

Brunnenbohrungen für Forst- u. Landwirtschaft,
Wessollek, Schwaig, Tel. (0911) 50 84 03

Anzeigen lesen — günstiger kaufen!

Wegen Aufgabe des Leiternhandels verkaufen wir den gesamten Bestand **Alu-Schiebeleitern 2tlg. nach DIN** Typ Herkules. 10 m, 2x5 m, 9 m, ausgesch. alt. Pr. 448,– DM, jetzt **247,– DM**, volle Garantie, Lieferung frei Haus. **FA. Minten-Auftragsann: Tel. (0201) 46 49 65**

Junger Forstmann, in Belgien als Agronom-Ing. (Forstwirtschaft) ausgebildet, 25 J., perfekt zweispr. (dt.-franz.), ortsungeb., sucht passende Stelle. **Off. u. 53312**

Spezial-Rückeseile
Ganzstahl, 12 mm Ø, je m DM 2,90 + MwSt., weitere Stärken auf Anfrage; sowie Entmistungsseile aus Kunststoff, Edelstahl verzinkt, auch mit elektr. Leiter, sofort ab Lager lieferbar.
Karl Maurer, Hanf- u. Drahtseile, 8867 Oettingen. **Tel. (09082) 23 49**

J. Ensmann
FOrstunternehmen
Ihr Partner im Forst
8773 Frammersbach, Spessartstraße 60, Tel. 09355/817 oder 1617
Alle Forstarbeiten sowie Selbstwerbung übernehmen wir preisgünstig

JE FO

Holzeinschlag
Rückung · Rodung
Holzhandel
Selbstwerbung
modernste
Schwachholzerntesysteme
Ganzbaumrückung
Prozessoraufarbeitung

Anzeigen lesen – informiert sein!

SCHULZE BUSCHHOFF

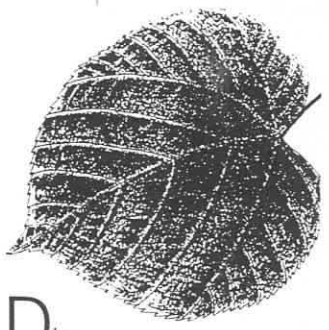
BAUMSCHULEN

4400 Münster-Handorf

Am Handorfer Bahnhof 2 · Telefon (0251) 32 96 66

Ihr Lieferant für

- Forst- und Landschaftsgehölze
- Pappeln in allen Sektionen
- Katalog gratis



Die standortgerechte Forstpflanzenwahl bedarf großer Sorgfalt. Wir helfen Ihnen dabei.

SCHWÄBISCHE BAUMSCHULEN
haage

Gottlieb Haage
Postfach 1109
8874 Leipheim
☎ (08221) 72028

Zweigbetrieb
8855 Rehau / Schw.
über Monheim

Zweigbetrieb
8936 Westerringen
ü. Schwabmünchen
☎ (08232) 4664

FRANKFURT. DIE STADT.

Wir suchen für unser **Forstamt** ab sofort eine(n)

Forstoberinspektorin/Forstoberinspektor

(Bes.-Gr. A 10 BBO)

Die Aufgaben: Öffentlichkeitsarbeit
— Erarbeiten von Informationsmaterial, Leitung des Info-Zentrums, Führungen im Stadtwald, Vorbereitung und Durchführung regelmäßig wiederkehrender Veranstaltungen, Kontakte zu den Medien —

Wir erwarten: Ausbildung für den gehobenen Forstdienst (evtl. auch allgemeiner Verwaltungsdienst) oder verwandter, naturwissenschaftlich orientierter Berufe.

Die Beschäftigung im Angestelltenverhältnis nach Verg.-Gr. IV b BAT ist möglich.

Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen werden bis **zwei Wochen** nach Erscheinen dieser Anzeige erbeten an den

Magistrat der Stadt Frankfurt am Main
— Personal- und Organisationsamt — Kennziffer 018/8550/044
Alte Mainzer Gasse 4 · 6000 Frankfurt am Main 1

20) KELLER, T. (1979): Der Einfluß langandauernder SO_2-Begasungen auf das Wurzelwachstum der Fichte. Schweiz. Zeitschr. Forstw. **130**, 429–435.
21) LAST, F. T., FOURLER, D., und FREER-SMITH, P. H. (1984): Die Postulate von Koch und die Luftverschmutzung. Forstw. Cbl. **103**, 28–48.
22) LENDZIAN, K. J., and UNSWORTH, M. H. (1983): Ecophysiological effects of atmospheric pollulants. In: Physiological Plant Ecology IV. (eds. O. L. LANGE, P. S. NOBEL, C. B. OSMOND and H. ZIEGLER), pp. 465–502. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
23) LICHTENTHALER, H. K., und BUSCHMANN, C. (1983): Das Waldsterben, Verlauf, Ursachen und Konsequenzen. Fridericiana **33**, 39–66.
24) LINDERMAN, R. G., and CALL, C. A. (1977): Enhanced rooting of woody plant cuttings by mycorrhizal fungi. J. Am. Soc. Hortic. Sci. **102**, 629–632.
25) LISS, B., BLASCHKE, H., und SCHÜTT, P. (1984): Vergleichende Feinwurzeluntersuchungen an gesunden und erkrankten Altfichten auf zwei Standorten in Bayern – ein Beitrag zur Waldsterbensforschung. Eur. J. For. Path. **14**, 90–102.
26) LISTER, G. R., SLANKIS, V., KROTKOV, G., and NELSON, C. D. (1968): The growth and physiology of *Pinus strobus L.* seedlings as affected by various nutritional levels of nitrogen and phosphorus. Ann. Bot. (London) N. S. **32**, 33–43.
27) MAHONEY, M. J., SKELLY, J. M., and CHEVONE, B. I. (1983): Effects of ozone and sulfur dioxide on mycorrhizal formation and growth of loblolly pine. Phytopathology **73**, 370.
28) MARSCHNER, H., KRAUSS, A., MARES, D. J., ENGELS, C., und SATTELMACHER, B. (1984): Knolleninduktion und Knollenwachstum in Abhängigkeit von exogenen und endogenen Faktoren. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **97**, 269–282.
29) MARX, D. H., and ARTMAN, J. D. (1979): The significance of *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae to survival and growth of pine seedlings on coal spoils in Kentucky and Virginia. Reclam. Rev. **2**, 23–31.
30) MARX, D. H., HATCH, A. B., MENDICINO, J. F. (1977): High soil fertility decreases sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*. Can. J. Bot. **55**. 1569–1574.
31) MEJSTRIK, V. K. (1980): Ectomycorrhizas in *Picea abies (L.)* Karsten from a heavily SO_2-polluted area. Prov. III[rd] Int. Conf. Bioind. Deter. Reg. 1977 (ed. J. SPALENY), pp. 171–179. Praha.
32) MENGE, J. A., and GRAND, L. F. (1977): Effect of fertilization on production of epigeous basidiocarps by mycorrhizal fungi in loblolly pine plantations. Can. J. Bot. **56**, 2357–2362.
33) MENGE, J. A., GRAND, L. F., and HAINES, L. W. (1977): The effect of fertilization on growth and mycorrhizae numbers in 11-year-old loblolly pine plantations. For. Sci. **23**, 37–44.
34) MEYER, F. H. (1959): Untersuchungen über die Aktivität der Mikroorganismen in Mull, Moder und Rohhumus. Arch. Mikrobiol. **33**, 149–169.
35) MEYER, F. H. (1961): Die Entwicklung von Buchenjungpflanzen in unterschiedlichem Bodenmilieu. Ber. Deutsch. Bot. Ges. **74**, 292–299.
36) MEYER, F. H. (1962): Die Buchen- und Fichtenmykorrhiza in verschiedenen Bodentypen, ihre Beeinflussung durch Mineraldünger sowie für die Mykorrhizabildung wichtige Faktoren. Mitt. Bundesforsch.-Anst. Forst- und Holzwirt. Reinbek, Nr. 54, 1–73.
37) MEYER, F. H. (1968): Mykorrhiza. In: Haldenbegrünung im Ruhrgebiet. S. 118–123. Schriftenreihe Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk, Essen, Nr. 22.
38) MEYER, F. H. (1982): Lebensbedingungen der Straßenbäume, Kriterien für die Auswahl von Gehölzen. In: Bäume in der Stadt (Herausg. F. H. MEYER), S. 84–133, 199–216. 2. Aufl. Verlag E. Ulmer, Stuttgart.
39) MEYER, F. H. (1984): Mykologische Beobachtungen zum Baumsterben. Allg. Forstz. **39**, 212–228.
40) MEYER, F. H. (1985): Die Rolle des Wurzelsystems beim Waldsterben. Allg. Forst- und J.Ztg. (im Druck).
41) MILLER, C. O. (1971): Cytokinin production by mycorrhizal fungi. In: Mycorrhizae (ed. E. HACSKAYLO), pp 168–174. U. S. Dept. Agric. Misc. Publ. **1189**.
42) MOSER, M (1959): Beiträge zur Kenntnis der Wuchsstoffbeziehungen im Bereich ektotropher Mykorrhizen. Arch. Mikrobiol. **34**, 251–269.
43) Ng, P. P., COLE, A. L. J., JAMESON, P. E., and MCCWHA, J. A. (1982): Cytokinin production by ectomycorrhizal fungi. New Phytol. **91**, 57–62.
44) OHENOJA, E. (1978): Mushrooms and mushroom yields in fertilized forests. Ann. Bot. Fennici **15**, 38–46.
45) REID, C. P. P., KIDD, F. A., and EKWEBELAM, S. A. (1983): Nitrogen nutrition, photosynthesis and carbon allocation in ectomycorrhizal pine. Plant and Soil **71**, 415–432.
46) RICHARDS, B. N., and WILSON, G. L. (1983): Nutrient supply and mycorrhiza development in Caribbean pine. For. Sci. **9**, 405–412.
47) RUDAWSKA, M. (1982): Effect of various organic sources of nitrogen on the growth of mycelium and content of auxin and cytokinin in cultures of some mycorrhizal fungi. Acta Physiol. Plant. **4**, 11–20.
48) SCHÜTT, P., BLASCHKE, H., HOQUE, E., KOCH, W., LANG, K. J. und SCHUCK, H. J., (1983): Erste Ergebnisse einer botanischen Inventur des „Fichtensterbens". Forstw. Cbl. **102**, 158–166.
49) SKENE, K. G. M. (1975): Cytokinin production by roots as a factor in the control of plant growth. In: The development and function of roots (eds. J. G. TORREY and CLARKSON, D. T.), pp. 365–396. Academic Press, London, New York, San Francisco.
50) SLANKIS, V. (1948): Einfluß von Exsudaten von *Boletus variegatus* auf die dichotomische Verzweigung isolierter Kiefernwurzeln. Phys. Plant. **1**, 390–400.
51) SLANKIS, V. (1971): Formation of ectomycorrhizae of forest trees in relation to light, carbohydrates and auxins. In: Mycorrhizae (ed. E. HACSKAYLO), pp. 151–167. U. S. Dept. Agric. Misc. Publ. **1189.**
52) SLANKIS, V., RUNECKLES, V. C., and KROTKOV, G. (1964): Metabolites liberated by roots of white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings. Physiol. Plant. **17**, 301.
53) SÖDING, H. (1952): Die Wuchsstofflehre. G. Thieme, Stuttgart.
54) SOHN, R. F. (1981): *Pisolithus tinctorius* forms long ectomycorrhizae and alters root development in seedlings of *Pinus resinosa*. Can. J. Bot. **59**, 2129–2134.
55) THIMANN, K. V. (1969): The auxins. In: Physiology of Plant Growth and Development (ed. M. B. WILKINS), pp. 1–37. McGraw-Hill, New York.
56) TOMASZEWSKI, M., and WOJCIECHOWSKA, B. (1973): The role of growth regulators released by fungi in the pine mycorrhizae. In: Plant growth substances, pp. 217–227. Hirokawa Publ. Co., Tokio.
57) ULRICH, B. (1983): Gefahren für das Waldökosystem durch saure Niederschläge. In: Immissionsbelastungen von Waldökosystemen. Sonderheft Mitt. LÖLF Nordrhein-Westf., S. 9–25.
58) ULRICH, B. (1984): Biochemische Indikatoren der Stabilität bzw. Labilität von Waldökosystemen. Statusseminar „Ursachenforschung Waldschäden" des BMFT, Göttingen.
59) VELDEMAN, I. R. (1980): Influence of mycorrhizae on the rooting of poplar *(Populus nigra italica)*. Med. Fac. Landbouwet, Riksuniv. Gent **45**, 169–174.
60) WINTERHOFF, W., und KRIEGLSTEINER, G. J. (1984): Gefährdete Pilze in Baden-Württemberg. Beih. Veröff. Naturschutz Landespflege Bad.-Württ. **40**, 1–120.

Persönliches

Prof. Dr. Narayan Parameswaran

Der Wissenschaftliche Oberrat Professor Dr. of Philosophy Narayan Parameswaran ist am 20. Januar 1985 im Alter von 50 Jahren verstorben. Prof. Dr. Parameswaran war seit 1965 Mitarbeiter des Instituts für Holzbiologie und Holzschutz und Professor an der Universität Hamburg.

Wir ehren in dem Verstorbenen einen im In- und Ausland hoch geschätzten Wissenschaftler, eine um die Forschungsanstalt verdiente Persönlichkeit und einen hervorragenden Menschen.

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft

Prof. Dr. Rieck 80 Jahre

Prof. Dr. Walter Rieck, Hann. Münden, vollendete am 1. Februar 1985 sein 80. Lebensjahr. Sein Wirken als Jagdwissenschaftler über vier Jahrzehnte umfaßt die Leitung und Mitarbeit in zwei bedeutenden Jagdkunde-Instituten und die Herausgabe der Zeitschrift für Jagdkunde und der Zeitschrift für Jagdwissenschaft.

1936 arbeitete er zunächst nach einer Assistentenzeit im ersten deutschen Jagdkunde-Institut in Berlin-Zehlendorf in der Jagdabteilung des Reichsforstamtes und betreute dort die Berufsjäger. Mit 32 Jahren wurde ihm die Leitung des für das gesamte Reichsgebiet zuständigen Instituts für Jagdkunde der Deutschen Jägerschaft in Berlin-Wannsee übertragen, eine Aufgabe, die er bis zum Untergang dieser Einrichtung mit dem Kriegsende innehatte. Grundlegende Arbeiten aus dieser Zeit betrafen die Altersschätzung und die Wildmarkenforschung.

Nach dem Zweiten Weltkrieg konnte er ab 1950 in dem von Oberlandforstmeister a. D. Prof. Nüßlein geleiteten Institut für Jagdkunde der Universität Göttingen seine jagdwissenschaftliche Tätigkeit fortführen und sich u. a. der Hasenforschung widmen. 1962 erfolgte seine Ernennung zum Professor. 1968 wurde ihm die Leitung des Instituts für Jagdkunde übertragen, dem er bis zum Jahre 1972, seiner Pensionierung, vorstand. In die Zeit seines Wirkens als Institutsleiter fiel auch die von ihm mitgetragene Gründung der „Arbeitsgemeinschaft jagdlicher Forschungsstätten" zur Koordinierung der jagdlichen Forschung im Jahre 1968.

Dr. Ueckermann

Aus Forstbetriebsgemeinschaften

Der F. F. Oberforstdirektor i. R. Dr. Karl Kwasnitschka ist nach Erreichung der Altersgrenze auf eigenen Wunsch aus dem Vorstand der Forstbetriebsgemeinschaft Holzhof Ostrach ausgeschieden. Dr. Kwasnitschka gehörte dem Vorstand seit der Gründung der Forstbetriebsgemeinschaft an. Dr. Kwasnitschka hatte dank seiner großen Sachkunde entscheidenden Einfluß auf die Organisation der Forstbetriebsgemeinschaft und die technologische Konzeption dieses modernen Schwachholzhofes in Ostrach. Vorstand und Mitglieder der Forstbetriebsgemeinschaft sprachen ihm in der Mitgliederversammlung am 16. Januar 1985 Dank und Anerkennung für seine Dienste aus.

Die Mitgliederversammlung wählte einstimmig F. F. Oberforstdirektor Dr. Peter Dietz, den neuen Leiter der Fürstlich Fürstenbergischen Forstverwaltung, als neues Vorstandsmitglied.

Frhr. Riederer v. Paar

Aus den Hochschulen

Dipl.-Forstwirt Dr. Hans-Joachim Weidelt erhielt am 1. Februar 1985 durch den Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen die venia legendi im Fach „Waldbau in den Tropen und Subtropen".

Personalnachrichten

Forstdirektion Freiburg

Ernannt wurden

zum Oberamtsrat: Heinz Kunzelmann, FA Gengenbach; Hubert Mäntele, FA Elzach; Walter Welle, FA Ettenheim

zum Amtsrat: Alexander Hatt, FA Staufen; Adolf Schmidt, FA St. Blasien; Bernd Textor, FD Freiburg.

zum Forstamtmann: Franz Beying, FA Gengenbach; Andreas Roth, FA Offenburg;

zum Oberinspektor: Ernst Danner, FA Waldshut; Rainer Fischer, FA Stühlingen;

zum Inspektor: Werner Bauer, FA Oberndorf; Detlef Franke, FA Kenzingen; Axel Lorisch, FA Mattenhof;

zum Inspektor z. A.: Klemens Fritz, FA Emmendingen; Josef Frommherz, FD Freiburg; Wolfram Fürgut, FA Elzach; Matthias Gauß, FA Sulz; Johannes Hamma, FA Tiengen; Hubert Heilig, FA Tiengen; Hubert Huber, FA Tuttlingen; Bertold Köpfer, FD Freiburg;